

I- INTRODUCTION

Avec plus de 5 milliards d'abonnés dans le monde en 2011, la norme GSM est désormais la norme cellulaire la plus répandue. La troisième génération 3G (UMTS) et la quatrième génération 4G (LTE) a pour objectif d'enrichir la gamme des services offerts (visioconférence, internet mobile, multimédia, etc.).

Le déploiement d'un tel réseau constitue **un investissement colossal** lié essentiellement au coût des infrastructures. La mise en place de son réseau d'accès radio représente une partie majoritaire du total des investissements en infrastructures. **Dans ce contexte, l'optimisation technique et technologique des réseaux d'accès radio devient, pour un opérateur, un enjeu fondamental permettant d'économiser ses investissements**, de réduire le nombre de sites à déployer, et de garantir une bonne qualité de service aux utilisateurs.

L'objectif principal de ce projet est de développer une infrastructure de la ligne antennaire de haute performance à très faible coût, basée sur une nouvelle technologie (RoF) autre que celle du câble coaxial. Il s'agit de proposer des solutions Radio sur Fibre (RoF pour Radio over Fiber). Cette technique consiste à capturer les signaux radio, puis à les convertir en signaux optiques pour les transmettre par fibre optique pour traitement numérique. La RoF est une technologie qui permet de transporter des signaux radio sur un lien en fibre optique. Par rapport aux câbles cuivres traditionnels et aux transmissions RF, elle offre des avantages tels qu'une large bande de fréquence et une faible atténuation linéique, permettant de propager des signaux très haut-débits sur des très longues distances (longueur ≤ 20 Km, limitation due à la dispersion chromatique). La Radio sur Fibre est un choix évident pour les futures communications mobiles à Très Haut Débit.

Les stations de base distribuées reposent sur le principe du déport des signaux radios mobiles sur une fibre optique. Cependant, l'insertion d'une liaison RoF dans un système de répartition de signaux radiofréquences doit nécessairement respecter les critères de qualité de transmission imposés par les normes des technologies utilisées (GSM, UMTS, LTE, ...) qui ont été établis à priori pour des transports uniquement RF (Radio Frequency).

Grace à la faible atténuation linéique de la fibre, on peut donc envisager des longueurs de fibre importantes ce qui **va permettre de centraliser les équipements**. L'intelligence est concentrée, ce qui **limite les handovers**. En effet, **plusieurs cellules sont alors gérées par un même équipement central (BSC)**. Cette technique permet l'anticipation des réseaux du futur et la réalisation de solutions de convergence des réseaux d'accès fixes et mobiles.

1- Le promoteur du projet

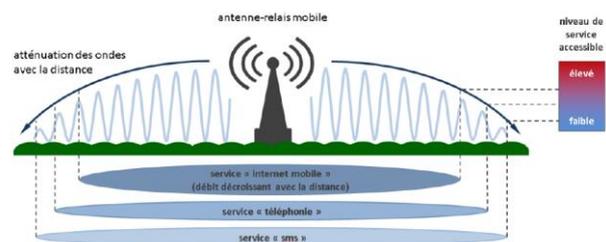
Dr HABIB, Fort d'une double expérience académique et professionnelle de 25 ans et de haut niveau, en technique et technologie Radiofréquences, hyperfréquences et systèmes de télécommunications, propose une solutions innovante technique et technologique en mesure de répondre au besoin des opérateurs et des équipementiers Télécoms pour le déploiement, la densification et l'optimisation des réseaux 2G, 3G et 4G, il s'agit de développer de nouvelles techniques et technologiques de déploiement de réseaux d'accès à bas coûts (60% de réduction des frais et coûts d'installation des réseaux d'accès), basées sur la fibre optique et permettant meilleure performance en transmission des signaux radio large bande et haut débit.

2- Le travail de recherche et d'innovation à développer en RoF (la radio à travers la fibre)

La radio sur fibre (RoF) a été considérée comme une technologie prometteuse qui concurrencera de manière indisputable comme solution viable pour la distribution des systèmes de communication sans fil à bande large actuels et futurs. La technologie RoF emploie la modulation d'onde sous-porteuse (SCM) pour moduler la lumière par un signal RF, qui à son tour sera transmise par la fibre. Malheureusement, la transmission du signal RF sur la fibre est sujette à un certain nombre de défauts. Ces défauts incluent le faible rendement de la conversion optique en électrique, à la dispersion chromatique de la fibre, et à la non-linéarité de l'émetteur optique. L'objectif de ce travail est de développer des technologies de pointe pour la radio sur fibre à large bande. Les conceptions proposées devraient adresser la déformation non linéaire induite par l'émetteur optique, combattre le problème de l'affaiblissement de la puissance optique induit par la dispersion chromatique de la fibre, et améliorer l'efficacité de modulation optique au petit signal sans augmenter de manière significative le coût et la complexité du système RoF. Pour le signal RF à large bande, nous considérons le signal à bande ultra large utilisant le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (ULB MB-MROF), qui a été proposé comme solution pour le réseau de secteur personnel sans fil d'IEEE 802.15.3a (WPAN). D'abord, la performance de la transmission de l'ULB MB-MROF par la fibre est étudiée en considérant l'impact de la modulation et la démodulation optique. L'analyse théorique de l'effet de la dispersion de la fibre, de la réponse de l'émetteur optique et du récepteur optique sur la performance du système est effectuée en considérant la distorsion de la phase et de l'amplitude. Des expériences devront être réalisées pour vérifier certaine analyse théorique.

II- LES MOTIVATIONS POUR UN TEL DEVELOPPEMENT

1- Principe des réseaux de communications numériques radio cellulaires à THD



La technologie radio a ses contraintes naturelles, les lois de la physique. La téléphonie mobile a pour principes de fonctionnement la propagation d'ondes radio entre deux émetteurs-récepteurs (un téléphone mobile et une antenne-relais) et le maillage du territoire en cellules bien délimitées, chacune couverte par une antenne-relais comme le montre la figure ci-dessus.

Plus généralement, la disponibilité et les performances d'un service dépendent de la qualité de la liaison radioélectrique établie entre le réseau

et le terminal de l'utilisateur, qui est notamment fonction de la position du terminal par rapport à l'antenne-relais à laquelle il accède. Cette variabilité géographique peut être très locale. Ainsi, en matière de transmission de données, **le débit auquel un utilisateur accède au réseau n'est pas le même selon la position qu'il occupe à l'intérieur d'une cellule couverte par une antenne-relais**. En fonction de la distance à l'antenne-relais, le débit accessible par l'utilisateur diminue et peut conduire à des baisses des performances, voire à l'indisponibilité de certains services. Le schéma ci-dessus illustre cet effet.

Les conditions d'utilisation sont par ailleurs de nature à influencer sur la perception du service mobile. Elle n'est pas identique selon la **situation depuis laquelle le service est évalué** : à l'extérieur ou à l'intérieur d'un bâtiment, en situation statique ou en mouvement, à l'intérieur d'un véhicule à plus ou moins grande vitesse etc. Ainsi, en raison de la difficulté des ondes électromagnétiques à traverser les murs, les vitres traitées et les surfaces métalliques, il se peut qu'en une zone où un réseau mobile est disponible en extérieur, ce même réseau soit disponible avec une moindre performance ou indisponible à l'intérieur d'un bâtiment, en particulier dans les pièces ne comportant pas de fenêtres ou situées en sous-sol.

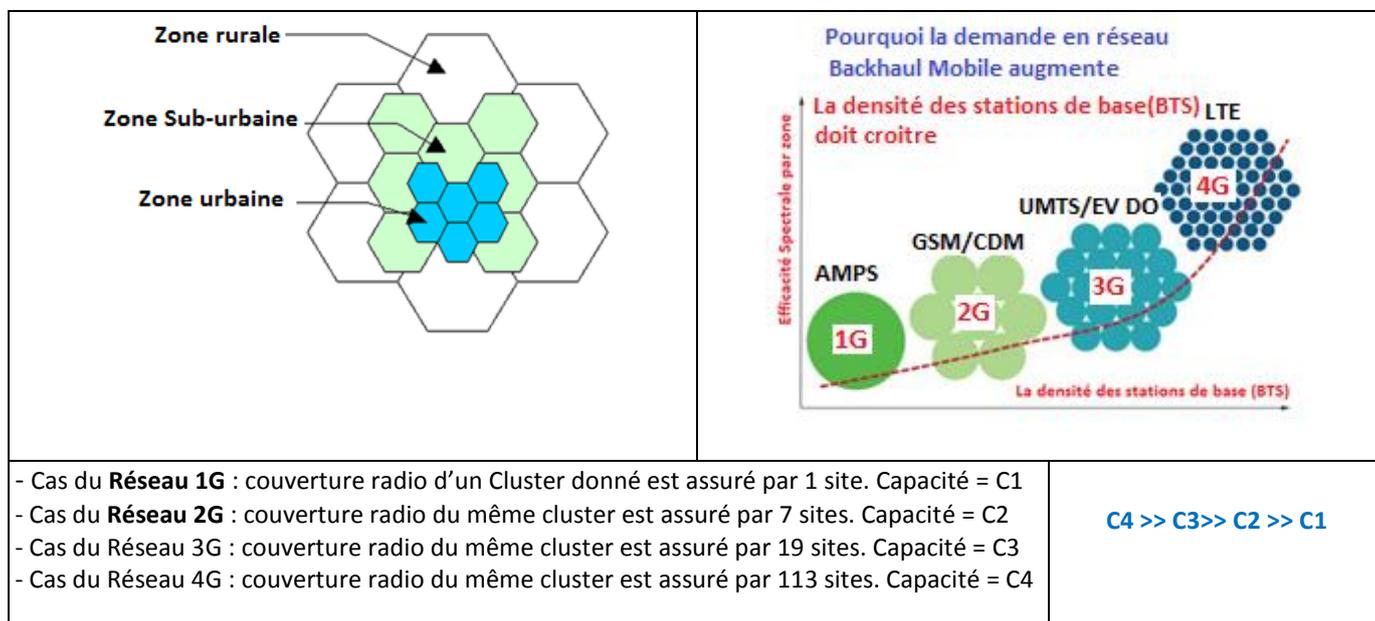
2- Les réseaux de communications numériques radio cellulaires à Très Haut Débit 4G LTE

Le 30 Septembre 2014, la France compte 38,8 millions d'abonnements (environ 40 Millions abonnés) à un service téléphonique sur les réseaux fixes (cuivre et fibre optique) tandis qu'à la même date le nombre de cartes SIM ou le nombre d'abonnement à un service de téléphonie mobile a atteint 79,3 millions (environ 80 Millions abonnés) toute technologie confondue (2G, 3G et 4G), dont 10 millions d'abonnés sont rattachés au nouveau réseau à THD 4G (LTE) à la fin de l'année 2014 ; Cela veut dire que le nombre d'abonnés au réseau téléphonique radio mobile est le double de celui du réseau téléphonique fixe.

Notons que les 70 millions abonnés du réseau radio mobile (2G et 3G) représente 87.5% du total des abonnés du réseau radio mobile devront bientôt basculer sur le réseau à THD 4G (LTE). Un grand chantier devra bientôt voir le jour celui du déploiement du réseau radio mobile à THD 4G (LTE) sur tout le territoire Français et qui devrait se dérouler en même temps que le déploiement du réseau optique FTTH connu par le Plan France Très Haut Débit. De notre côté nous estimons que le chantier du déploiement des réseaux radio mobiles 4G, 4G++ à THD, par les opérateurs historiques Français consiste à la modernisation des réseaux radio mobiles existants (2G et 3G) environ 200 000 antennes relais (cellule), nous évaluons ce chantier pour les 10 ans à venir à plus de 15 milliards d'Euros et la mobilisation de plus de 100 000 emplois. D'où l'intérêt de notre projet de développement de nouvelles technologies de réseaux d'accès radio large bande et à THD, lequel est en mesure de réduire le cout de modernisation d'environ 70% du cout prévu.

a- Développement durable

Le concept de la technologie 4G (LTE) est de travailler à très faible énergie sur un spectre très large, à vue directe, en utilisant un très fort gain passif d'antenne à l'émission et à la réception associé à des systèmes de réception de forte sensibilité et un excellent traitement du signal. Le rayonnement du système est donc très limité en puissance et dans l'espace. Les réseaux radio mobile à **THD** sont essentiellement ceux de la génération 4 nommés LTE (**Long Term Evolution**), déployés en zone dense et très dense en population, et dont le nombre de cellules est plus important que celui correspondant aux autres réseaux des générations 1, 2 et 3, comme le montre la figure ci-dessous :



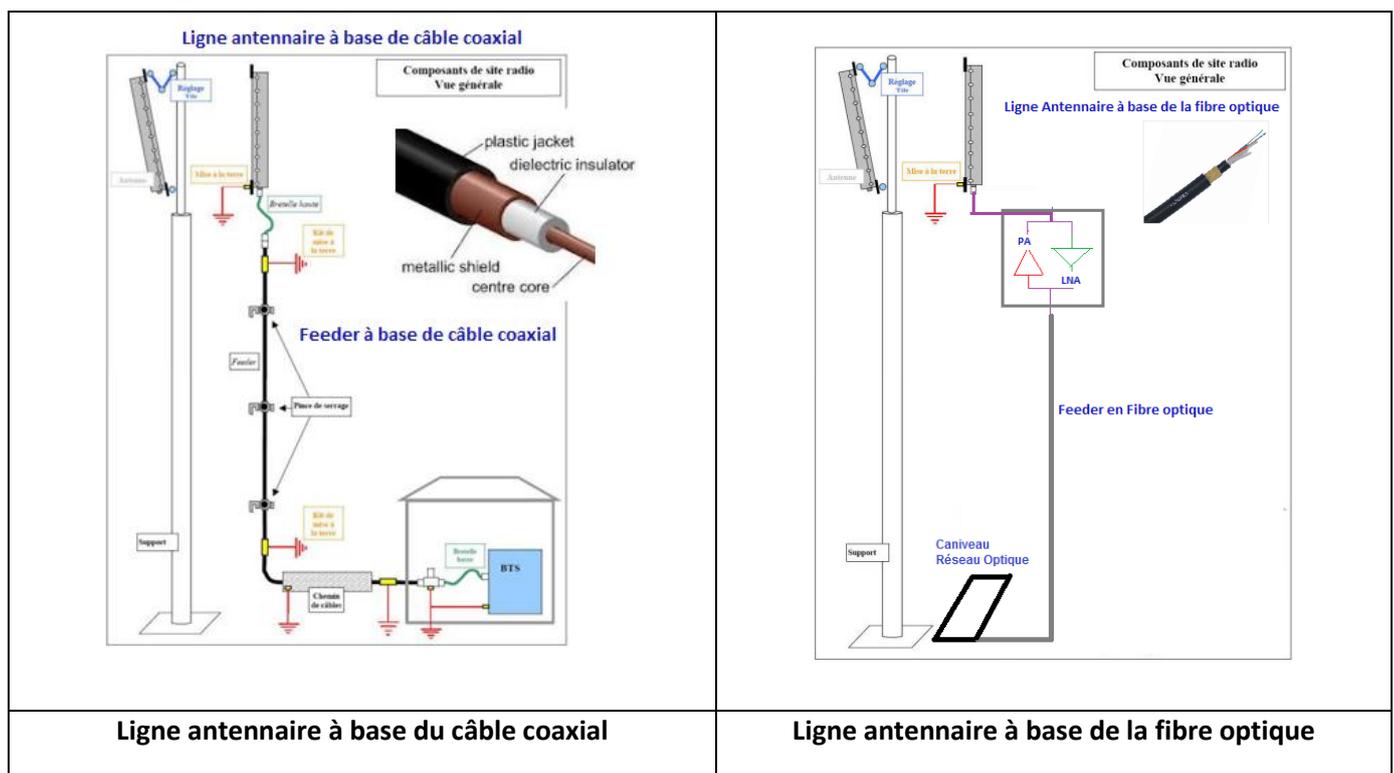
b- La conciliation innocuité aux ondes et couverture radio satisfaisante

Paradoxalement, **la multiplication des antennes donc de sites permettrait de baisser le niveau d'exposition et d'absorber de plus en plus de trafic**. Si la couverture est dense, les antennes-relais n'ont pas besoin d'être aussi puissantes. Le réseau UMTS (3G) ou LTE (4G), est conçu comme support pour les applications large bande grâce à l'étalement de spectre et le mode d'accès multiple CDMA.

Dans ce contexte, l'optimisation des réseaux d'accès radio devient, pour un opérateur, un enjeu fondamental permettant d'économiser ses investissements, de réduire le nombre de sites à déployer, et de garantir une bonne qualité de service aux utilisateurs. Puisque le nombre de sites croît très rapidement par rapport à la technologie sans fil employée, tandis que la puissance d'émission décroît fortement ; Et comme le montre la figure ci-dessus un cluster d'une superficie donnée, nécessitera 7 sites pour assurer sa couverture radio par un réseau GSM 2G, il nécessitera 19 sites pour assurer sa couverture radio par un réseau UMTS 3G, et il nécessitera 113 sites pour assurer sa couverture radio par un réseau LTE 4G, les cellules des sites de ce dernier réseau sont de faible puissance d'émission donc une **Innocuité des ondes certaine**. D'où la nécessité de développer une nouvelle technique de réseaux d'accès qui permet l'usage des infrastructures déjà existantes, tels que : les bâtiments très hauts, les tours de télévision, les lampadaires, les châteaux d'eau.

3- De nouveaux réseaux d'accès pour les réseaux radio cellulaires

a- La structure de la ligne antenne à base de la fibre optique



Comme le présente le schéma ci-dessus le feeder de la ligne antenne à base de la fibre optique est une fibre monomode multibrin, facile à déployer et à installer a les avantages suivants :

- Distorsion minimale du signal
- Très faibles pertes du signal (généralement $< 0.4\text{dB} / \text{km}$), permettant un transport du signal de longue distance **(jusqu'à 50km environ pour une fibre monomode) ;**

- Une dégradation minimale du rapport Signal – Bruit.
- Effet minimal sur la phase du signal.
- La fibre non conductrice permet une isolation électrique infinie pas de risque de transport de la foudre.
- haute immunité aux interférences de type EMF/EMI, signal transmis non affecté par les radiations électromagnétiques donc transmission avec une sécurité maximale.
- Une grande dynamique, une réponse en fréquence indépendant de la longueur du câble.
- Le câble en fibre optique est très léger, de petite dimension, flexible et facile à déployer.
- L'amplification LNA (Low Noise Amplifier) en réception et PA (Power Amplifier) en émission.

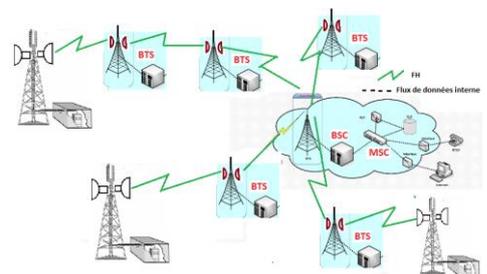
b- La tête d'amplification RF LNA et PA

L'amplification LNA en réception et PA en émission sont installés en tête de mât. L'avantage est d'améliorer la sensibilité en réception et le rendement en émission avec un rapport de puissance disponible sur puissance installée du PA maximisée (le coût en PA et en énergie est amélioré). L'inconvénient est d'installer plus d'équipement en tête de mât et de devoir installer un câble d'énergie pour atteindre ces équipements. Les équipements doivent aussi être protégés du climat et de la foudre.

4- Nouvelle technique et technologie des réseaux d'accès radio

a- Réseau d'accès à base du câble coaxial

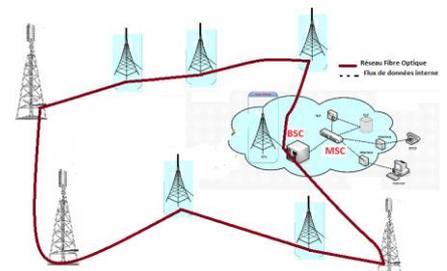
L'architecture d'un réseau radio cellulaire dont le réseau d'accès est constitué de lignes antennaires à base du câble coaxial suit le modèle ci-contre ; Chaque station relais du réseau est attaché à un BSC par une liaison faisceau Hertzien, elle est constituée d'un environnement technique donné (énergie, climatisation, groupe électrogène, système de sécurité, etc.), d'un abri (shelter), d'une BTS (regroupant les équipements radio), les équipements de transmission FH et d'une ou plusieurs lignes antennaires.



b- Réseau d'accès à base de la fibre optique

Le déploiement des réseaux fibre optique par les opérateurs de Télécoms essentiellement dans les villes est devenu très courant d'une part et d'autre part la faible atténuation linéique de la fibre, on peut donc envisager des longueurs de fibre importantes ce qui va permettre:

- De penser à un nouveau réseau radio cellulaire dont le réseau d'accès est constitué de lignes antennaires à base de la fibre optique suivant le modèle ci-contre;
- **De centraliser les équipements.** L'intelligence est concentrée, ce qui limite les handovers. En effet, plusieurs cellules sont alors gérées par un même équipement central (BSC). Cette technique permet l'anticipation des réseaux du futur et la réalisation de solutions de convergence des réseaux d'accès fixes et mobiles.



L'usage de la propriété de la fibre optique : transmission à très faible perte du signal large bande à haut débit (généralement < 0.4dB / km), permettant un transport du signal de longue distance (**jusqu'à 50km environ pour une fibre monomode**) avec une dégradation minimale du rapport Signal – Bruit ; Chaque station relais se réduit à des antennes qui sont reliées aux équipement radio via le réseau fibre optique, les équipements radio de toutes les stations relais sont dans le même local que la BSC,

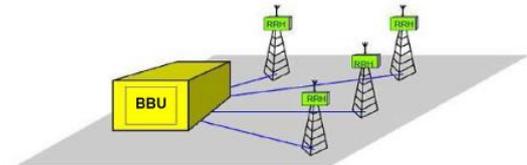
La configuration du réseau d'accès à base de ligne antennaire en Fibre optique permet une économie importante en investissement corporel du à :

- Absence du réseau de transmission FH ;
- Absence d'abris, d'installations électriques individuelles, etc.
- Environnement technique simplifié celui correspondant à la BSC.
- Supervision, exploitation et maintenance simplifiés.
- Frais de location de terrasse réduits
- Sécurité du réseau renforcé (le vol du cuivre en particulier).
- Moins d'handovers
- Meilleure performance en qualité de service.
- Très faible cout des infrastructures d'accueil
- Délai très réduit de déploiement de sites (1 semaine à un mois)

5- Quelques applications

▪ Station de Base distribuée

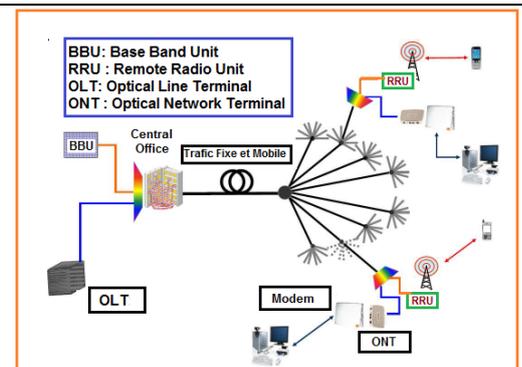
Les performances des stations de base distribuées, en liaison point-à-point, permettent d'offrir un support capable de transmettre les débits des réseaux mobiles à venir. Il existe également des liaisons radio point à multipoints réalisées entre la plateforme (BBU : Base Band Unit) et plusieurs sites d'antenne (RRU : Remote Radio Unit). Ce type de liaison est illustré en Figure ci-après.



*BBU: Base Band Unit (central); RRU ou RRH : Remote Radio Unit ou Host (antenne)

▪ Un équipement central gérant plusieurs RRH (RRU)

Ce principe offre une flexibilité favorable aux opérateurs confrontés à des contraintes de déploiement, liées notamment aux difficultés d'acquisition des sites ou à des limitations physiques de câblage sur différents sites, et leur permet de fournir une couverture radio à leurs abonnés. Nous avons ainsi expérimenté la mutualisation du trafic fixe et mobile sur un même tronçon de fibre. Cette solution de convergence présentée en Figure ci-dessous est avantageuse dans le cas d'un déploiement FTTx existant et peut être aussi la base du déploiement des futurs réseaux.



Architecture de convergence des réseaux d'accès fixe et mobile

Le transport du signal peut se faire de manière analogique ou numérique. Dans le premier cas, le signal radiofréquence vient directement moduler le laser, dans le second cas le signal RF est numérisé puis utilisé pour moduler le laser par exemple en NRZ. La complexité et la maturité des techniques de transmission RF dépend également de fréquence des porteuses.

Si on estime que le cout d'installation d'une station de base d'un site macro cellule et des antennes associées, est d'environ **300 000 euros**; or celui de la même station de base avec ses antennes en technologie fibre optique est d'environ **60 000 euros**, un gain de 71% en frais de déploiement et des performances meilleures que celles obtenue en technologie câble coaxial.

III- PROJET D'INNOVATION

Aujourd'hui, tous les réseaux d'accès sont constitués de lignes antennaires à base du câble coaxial. Le besoin en communication mobile exige une bande passante importante, des fréquences porteuses élevées de l'ordre de 6 000 MHZ et un débit important donc nécessité d'un réseau d'accès radio 3G et 4G, dense et performant constitué d'infrastructures Radiofréquences plus performantes et à faible coût basé sur une nouvelle technologie autre que celle du câble coaxial.

IV- MARCHÉ VISE

La conception, la densification, l'optimisation, la convergence des technologies des réseaux radio cellulaires 3G, 4G. Afin de pouvoir satisfaire les consommateurs et la demande, le nombre d'installations relais ou antennes relais a augmenté proportionnellement avec le nombre de téléphone portable. C'est ainsi qu'en janvier **2012**, le territoire français en comptait plus de **157 000 stations relais** et ce nombre n'a fait qu'augmenter depuis, et dans le monde plusieurs **millions** de stations relais, dont la plus part sont situées en zone urbaine qu'il faut optimiser et maintenir afin **d'assurer la qualité de services** performance nécessaire pour maintenir les clients chez l'opérateur. Le marché visé est constitué essentiellement des opérateurs et des équipementiers Télécoms tels que :

Les opérateurs Télécoms : Orange, SFR, Bouygues Telecom, Vandafone, etc.

Équipementiers Télécoms : Alcatel-Lucent, Nokia Siemens Network, Ericsson, Huawei, ZTE, etc.

Le marché des réseaux d'accès en technologie fibre optique est estimé à des centaines de milliards d'Euros.

V- RESSOURCES HUMAINES

Le projet doit employer un ingénieur radiofréquence, un ingénieur spécialisé en Optoélectronique et deux techniciens qualifiés en ingénierie des systèmes et des réseaux de radiocommunication

VI- EQUIPEMENTS ET MATERIELS

Le projet nécessite des équipements et des instruments de mesure Radiofréquences et Optoélectroniques, des composants RF et optoélectroniques, ainsi que des dispositifs et accessoires associés aux lignes antennaires à base de câble coaxial et à base de la fibre optique.

VII- DELAI DE DEVELOPPEMENT

Le délai de développement et de la validation de la nouvelle technique et technologie de réseau d'accès est estimé à 24 mois minimum et à 28 mois maximum.

VIII- COUT GLOBALE DU PROJET

Pour un délai de réalisation du projet de **24 mois**, le cout global est estimé à 530 000€.