

CONNECTIVITE URBAINE

# Rapport technique sur le déploiement pilote de petites antennes au Kremlin-Bicêtre

pour favoriser l'accès au très haut débit mobile

Décembre 2018

## Table des matières

1. Introduction.....	3
2. Description de l'expérimentation.....	5
2.1. Localisation.....	5
2.2. Type d'antennes utilisées.....	7
3. Mesures réalisées.....	10
3.1. Mesures en mobilité sur les débits montants et les puissances d'émission des téléphones portables.....	10
3.2. Mesures d'exposition sous accréditation en des points fixes.....	11
4. Conclusion.....	17

## 1. Introduction

Les réseaux mobiles actuels sont essentiellement constitués d'équipements radio à longue portée déployés pour assurer la couverture dans toutes les configurations de terrain qu'il s'agisse de zones urbaines denses ou de territoires ruraux. A l'avenir, cette couverture sera complétée par des petites antennes (cf. Figure 1) de moyenne portée pour améliorer la couverture et la connectivité pour tous dans les zones les plus denses, à l'heure où la population utilise de plus en plus les réseaux mobiles.

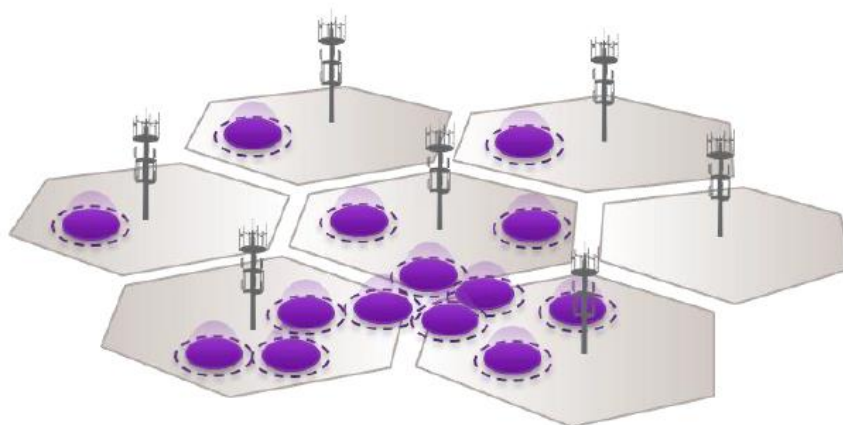


Figure 1 : illustration d'un réseau hétérogène composé d'antennes macro et de petites antennes

Des pilotes sont conduits pour tester en grandeur nature les modalités d'un déploiement de petites antennes. L'ANFR est associée à ces pilotes et travaille avec l'ensemble des acteurs pour caractériser ces réseaux en termes d'exposition et de performance par rapport à la situation actuelle.

L'étude prévoit des pilotes avec différents opérateurs pour tester le déploiement de petites antennes à faible puissance installées sur du mobilier urbain. Différentes configurations seront testées notamment en termes de mobilier urbain utilisé, de technologies et de bandes de fréquences mises en œuvre. Ces pilotes visent à mesurer l'apport de ces petites antennes pour la connectivité de la population. Ils ont également pour objectif de mesurer l'exposition du public afin de mieux évaluer l'effet de ces petites antennes dans leur voisinage.

Deux premiers pilotes<sup>1</sup> ont déjà eu lieu à Annecy en janvier 2017 sur le réseau 4G de l'opérateur Orange dans la bande de fréquence 2 600 MHz et à Montreuil à l'été 2017 sur les réseaux 3G et 4G de l'opérateur Bouygues Telecom dans les bandes de fréquence 2 100 MHz, 1 800 MHz et 2 600 MHz. Ils ont permis d'apporter des premiers résultats positifs sur la performance de ces nouveaux réseaux, avec une amélioration sensible des débits montants et une diminution significative de la puissance d'émission du téléphone portable. Quant au niveau moyen d'exposition du public autour des petites antennes, les mesures pilotées par l'ANFR ont montré qu'il était comparable à celui que peut créer le réseau actuel d'antennes.

Ce rapport porte sur le troisième et dernier pilote mené dans la ville du Kremlin-Bicêtre entre décembre 2017 et avril 2018, sur le réseau 4G de l'opérateur SFR dans la bande de fréquence

<sup>1</sup> <https://www.anfr.fr/petites-antennes/>

1 800 MHz. Dans le cas de ce pilote, quatre sites ont été intégrés dans deux Abribus et deux panneaux publicitaires JCDecaux de type « sénior ». Le chapitre 2 présente la zone d'expérimentation et le type d'antennes utilisées. Le chapitre 3 décrit les résultats obtenus sur ce troisième pilote.

## 2. Description de la zone pilote

### 2.1. Localisation

L'opérateur SFR a retenu une zone de déploiement pilote dans le quartier les Coquettes/ les Plantes à proximité de la station de métro Le Kremlin Bicêtre (cf. Figure 2). Le pilote a duré 4 mois entre décembre 2017 et avril 2018.

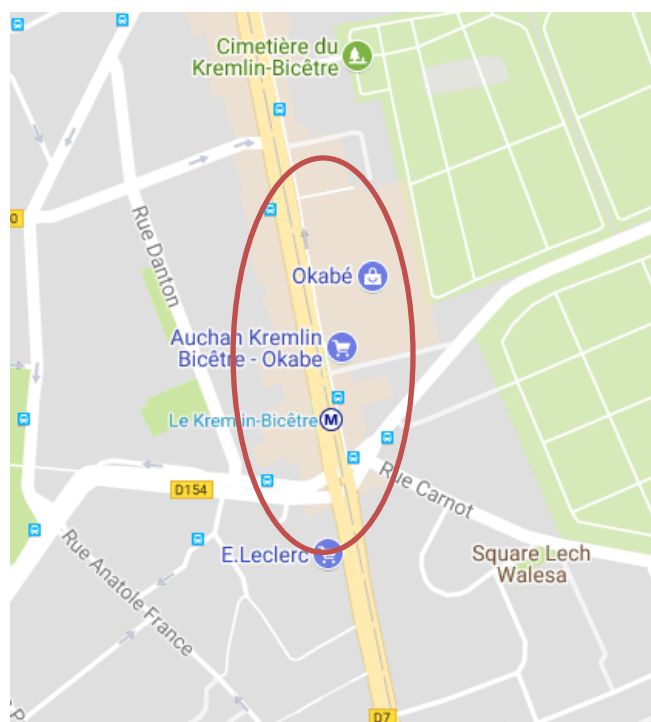


Figure 2 : zone du déploiement pilote

Les petites antennes fonctionnaient sur le réseau 4 G dans la bande de fréquence 1 800 MHz. Elles ont été implantées dans cinq sites (cf. Figure 3 où elles sont matérialisées par le symbole ★) de mobilier urbain JCDecaux pour compléter le réseau actuel d'antennes longue portée (matérialisées par le symbole 📶).

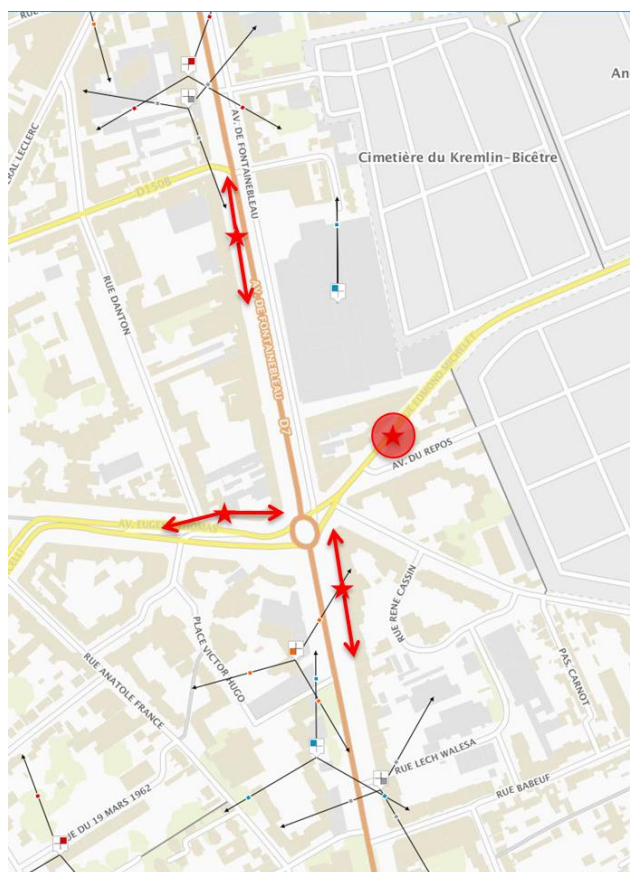


Figure 3 : localisation des petites antennes directives matérialisées par des flèches et de la petite antenne omnidirectionnelle matérialisée par un rond.

L'insertion des petites antennes dans le mobilier urbain permet de déployer l'équipement radio très rapidement, sans travaux complexes, et en minimisant l'impact visuel de ces équipements.

Dans le cadre du pilote du Kremlin Bicêtre, deux types de mobilier urbain JCDecaux ont été utilisés : l'Abribus et le panneau d'affichage Sénior (cf. Figure 4).



Figure 4 : intégration des petites antennes au mobilier urbain JCDecaux

## 2.2. Type d'antennes utilisées

Pour couvrir le territoire, les réseaux de téléphonie mobile sont constitués d'un maillage d'antennes-relais qui, chacune, desservent une zone appelée « cellule ».

Ces antennes-relais diffèrent par leur *puissance* (puissance injectée) et leur *diagramme de rayonnement*, qui décrit la façon dont cette puissance est diffusée autour de l'antenne. C'est comparable à la manière dont on peut décrire un luminaire par la puissance de l'ampoule et la forme du réflecteur (qui peut procurer un éclairage diffus ou directionnel). Le *gain* d'une antenne, quant à lui, décrit la capacité de l'antenne à focaliser la puissance : l'ouverture horizontale et l'ouverture verticale permettent ainsi d'indiquer la finesse du faisceau, comme on pourrait le faire pour un spot lumineux.

Les antennes-relais couvrent ainsi des cellules plus ou moins grandes, selon leurs caractéristiques.

Plusieurs classes d'antennes-relais ont été standardisées par les organismes internationaux<sup>2</sup> :

- **Antennes longue portée** : puissances de plus de 6,3 W ; cette classe d'antennes est utilisée pour le réseau usuel des opérateurs ; ces antennes couvrent des cellules d'assez grande taille (quelques centaines de mètres en milieu urbain à plusieurs kilomètres en milieu rural) qui sont également qualifiée de « macro-cellules » ;
- **Antennes moyenne portée** : puissances comprises entre 0,25 W et 6,3 W par port ; cette classe d'antenne correspond à des émetteurs destinés à être utilisés à l'extérieur, sur du mobilier urbain par exemple ; elles produisent des « micro-cellules », dont la taille varie de quelques dizaines à quelques centaines de mètres ;
- **Antennes couverture locale** : puissances comprises entre 0,1 W et 0,25 W ; cette classe d'antennes est employée pour améliorer la couverture à l'intérieur des bâtiments, par exemple dans les centres commerciaux, les bureaux ou les parkings ;
- **Antennes couverture résidentielle** : puissances inférieures à 0,1 W ; cette classe correspond aux dispositifs utilisés chez les particuliers (« femtocells »), avec une couverture comparable à celle des box WiFi des opérateurs fixes.

Les antennes longue portée constituent l'essentiel des réseaux actuels. Elles sont en général installées sur des points hauts, comme des pylônes ou des toits d'immeubles en milieu urbain. Ces antennes sont directives. Un site longue portée porte ainsi en général trois antennes, orientées dans trois directions (cf. Figure 5). Pour focaliser leur puissance, ces antennes affichent des gains de l'ordre de 50 (soit, selon les unités utilisées par les installateurs, 17 dBi). Les puissances maximales typiques de ces antennes varient entre 40 W et 80 W, selon les technologies. Pour chaque faisceau, plusieurs antennes peuvent être implantées pour assurer différents services dans différentes bandes de fréquences : 2G dans les bandes 900 MHz ou 1 800 MHz, 3G dans les bandes 900 MHz ou 2 100 MHz et 4G dans les bandes 700 MHz, 800 MHz, 1 800 MHz, 2 100 MHz ou 2 600 MHz.

---

<sup>2</sup> ETSI TS 125.104 (3GPP TS 25.104) et ETSI TS 136.104 (3GPP TS 36.104)

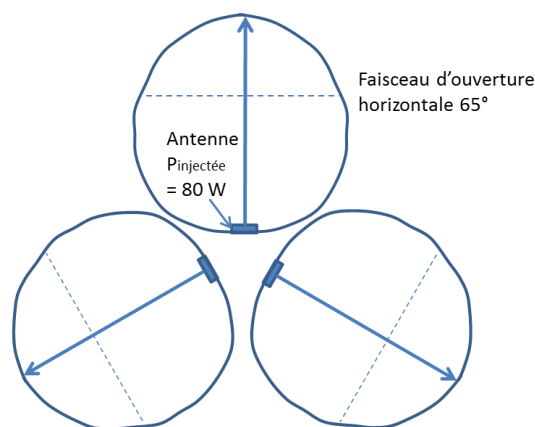


Figure 5 : vue de dessus d'un site comportant trois antennes macros

Autour d'une antenne, il est obligatoire de respecter un périmètre de sécurité<sup>3</sup>, zone qui doit rester inaccessible au public pour éviter tout dépassement des seuils d'exposition. Ce périmètre est ajusté selon le type d'antenne mais, dans la plupart des cas d'antennes longue portée, il est de 5 à 15 mètres en face de l'antenne, jusqu'à 6 mètres sur ses côtés et jusqu'à 0,5 m sous l'antenne.

L'architecture actuelle des réseaux mobiles, principalement constituée d'antennes longue portée, devrait être progressivement complétée par des antennes plus petites, de la classe des antennes moyenne portée, pour écouler de plus en plus de trafic, du fait des nouveaux usages des citoyens. Les antennes longue portée des réseaux 2G, 3G et 4G resteront néanmoins indispensables pour assurer couverture et capacité sur l'ensemble d'un territoire.

C'est un complément de ce type qui a été testé pour le pilote du Kremlin Bicêtre en technologie 4G. Les « petites antennes » utilisées au Kremlin Bicêtre appartiennent à la classe des antennes de moyenne portée. Leur portée est donc, selon les réglages, de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres. Ces antennes sont conçues pour être moins directives que les antennes longue portée : leurs faisceaux sont plus larges, avec, par conséquent, des gains plus faibles, de l'ordre de 6 (soit 8 dBi). Les puissances maximales typiques de ces appareils sont d'environ 4 W. Un site de moyenne portée peut être constitué de deux antennes orientées dans deux directions opposées, par exemple pour couvrir une rue (cf. Figure 6). Dans chaque direction, plusieurs antennes pourraient coexister pour assurer différents services (2G, 3G, 4G). Des antennes omnidirectionnelles peuvent également être utilisées. Le périmètre de sécurité de ces petites antennes est beaucoup plus réduit que pour les antennes macros : de l'ordre de quelques dizaines de centimètres autour des antennes. Il peut, de ce fait, être contenu dans le volume du radome de l'antenne.

<sup>3</sup> [https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/sites/2018-05-07\\_ANFR-DR17-5\\_Guide\\_P%C3%A9rim%C3%A8tres\\_de\\_S%C3%A9curit%C3%A9\\_VF.pdf](https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/sites/2018-05-07_ANFR-DR17-5_Guide_P%C3%A9rim%C3%A8tres_de_S%C3%A9curit%C3%A9_VF.pdf)



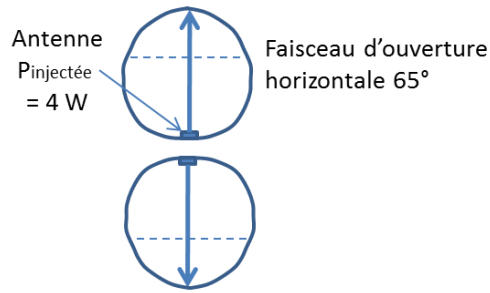


Figure 6 : vue de dessus d'un site micro contenant deux antennes micros directives

A titre de comparaison, voici les caractéristiques techniques généralement utilisées, d'une part, pour une petite antenne du même type que celle déployée dans le cadre du déploiement pilote du Kremlin Bicêtre et, d'autre part, pour une antenne longue portée utilisée pour diffuser la 4G :

	<b>Antenne moyenne portée directive</b>	<b>Antenne longue portée directive</b>
<b>Puissance typique maximale</b>	4 W	80 W
<b>Gain d'antenne</b>	6 (8 dBi)	50 (17 dBi)
<b>Angle d'ouverture horizontal</b>	60° - 70°	60° - 90 °
<b>Angle d'ouverture vertical</b>	35° à 70°	~5 à 10 °

Dans le cadre de ce pilote, une antenne moyenne portée omnidirectionnelle de gain plus faible a également été testée par SFR.

### 3. Mesures réalisées

#### 3.1. Mesures en mobilité sur les débits montants et les puissances d'émission des téléphones portables

Différents paramètres ont été enregistrés à l'aide de mobiles à trace sur des parcours couvrant la zone du pilote. Chaque parcours est réalisé deux fois, une fois lorsque les petites antennes étaient en service et une fois lorsqu'elles ne l'étaient pas.

Les parcours ont simulé les trajets d'un piéton le long des principaux axes dans des zones couvrant 100 mètres autour de chaque petite antenne de la zone d'expérimentation (cf. Figure 7).

Les mobiles à trace permettent d'enregistrer différents paramètres, dont notamment les coordonnées GPS, la puissance émise par le mobile, la puissance reçue depuis le réseau par le mobile et les débits. Ils ont été configurés afin d'alterner des envois de fichiers de 100 Mo vers le réseau (« *upload* ») et des appels voix de 30 secondes puisque le service voix 4G (*VoLTE*) était disponible.



Figure 7 : parcours réalisés autour des sites avec le mobile à trace permettant d'enregistrer différents paramètres radio

L'analyse préliminaire de ces mesures a montré que la mise en service des petites antennes permet d'améliorer les débits dans le sens montant en moyenne sur les parcours jusqu'à un facteur quatre

selon la couverture initiale existante. Les débits mesurés dans le sens montant ont ainsi atteint jusqu'à 25 Mbits/s en moyenne sur les parcours et jusqu'à 35 Mbits/s en valeur maximale.

Par ailleurs, à proximité des petites antennes, le débit maximal offert en téléchargement, dans le sens descendant, par ces petites antennes peut augmenter jusqu'à un facteur 10 pour atteindre jusqu'à 150 Mbits/s.

### 3.2. Mesures d'exposition sous accréditation en des points fixes

Des essais ont été réalisés sous accréditation Cofrac selon le protocole ANFR DR15-3.1 de l'ANFR publié au Journal Officiel.

La démarche a consisté en une analyse préalable du voisinage du site (relevés intermédiaires à une hauteur de 1,5 m du sol) suivie d'une mesure précise dans les différents points retenus.

Afin d'évaluer l'influence des petites antennes, l'ensemble des sites a fait l'objet de deux séries de mesures, une première série avec les petites antennes en service et une seconde série aux mêmes points avec les petites antennes éteintes.

Dans un rayon de 100 mètres autour des sites, le niveau d'exposition moyen mesuré à 1m50 de hauteur, lorsque les petites antennes sont activées varie entre 0,4 V/m et 1,3 V/m (cf. Figure 8). Lorsque les petites antennes sont éteintes, ce niveau moyen dans la même zone varie entre 0,4 V/m et 1,2 V/m.

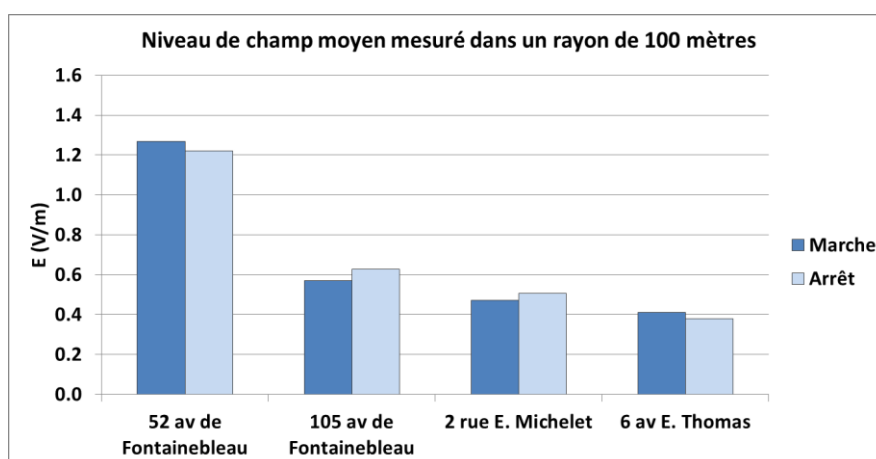


Figure 8 : niveau d'exposition moyen mesuré dans des zones de 100 mètres autour des sites quand les petites antennes sont arrêtées ou en marche

Ces mesures ont également montré qu'à proximité immédiate des petites antennes (à moins de deux mètres), le niveau d'exposition maximal global évalué sur toute la bande de fréquences 100 kHz – 6 GHz (cf. Figure 9) varie entre 1,5 V/m et 3 V/m, il apparaît donc comparable à celui que peut créer le réseau actuel d'antennes longue portée.

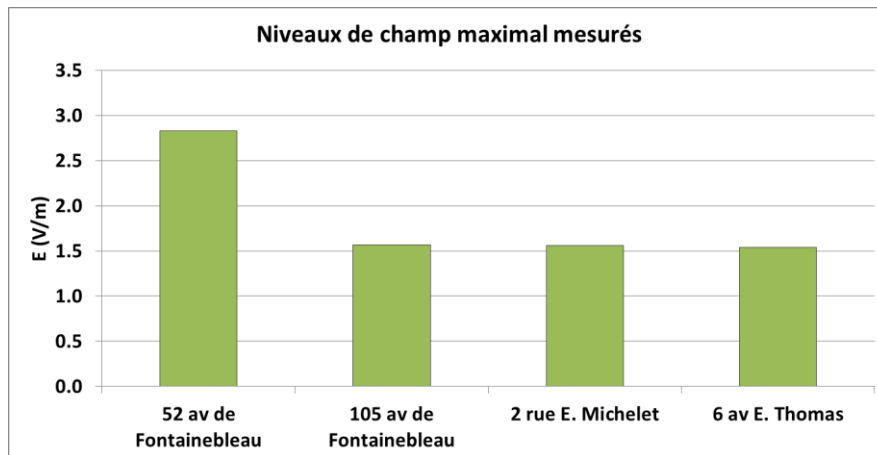


Figure 9 : niveaux maximaux mesurés à proximité des sites lorsque les petites antennes sont en marche

Ces niveaux apparaissent très faibles par rapport à la valeur limite réglementaire dans la bande de fréquence utilisée par les petites antennes qui est de 58 V/m.

### Détails des résultats de mesures sur le site 105 avenue de Fontainebleau – Figure 11

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,15 V/m et 1,3 V/m avec un niveau moyen de 0,8 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service, il varie entre 0,1 V/m et 1,6 V/m avec un niveau moyen de 0,8 V/m.

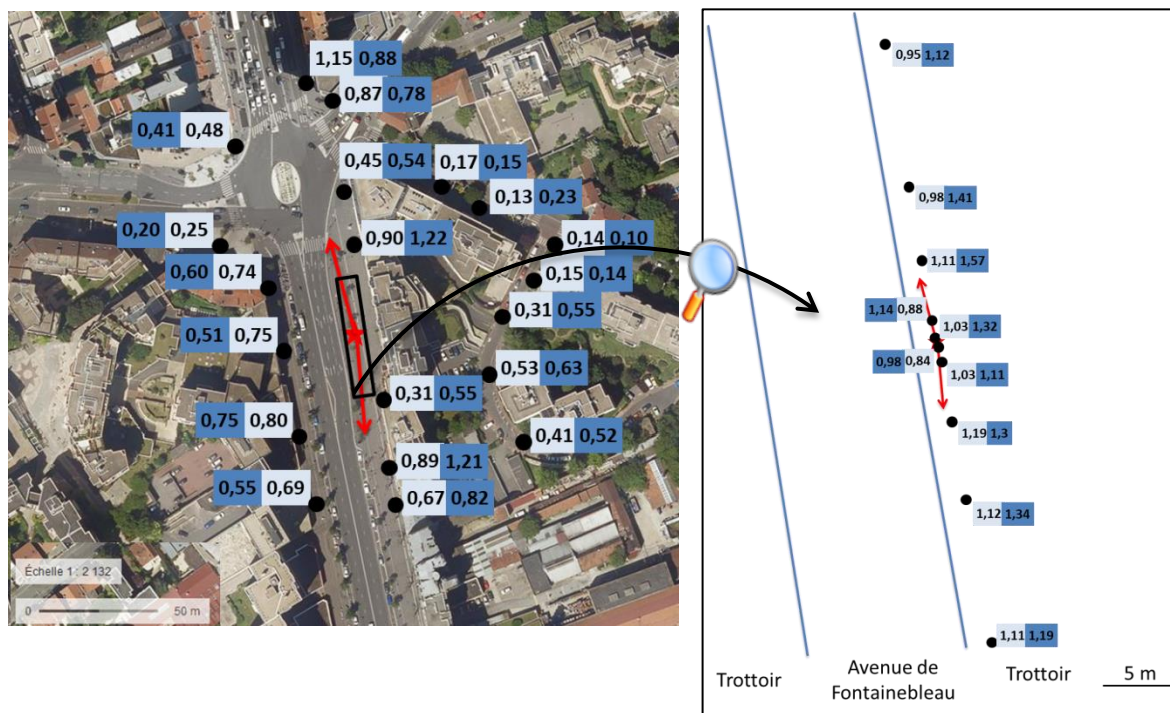


Figure 10 : cartes des résultats de mesures autour du site 105 avenue de Fontainebleau

## Détails des résultats de mesures sur le site 52 avenue de Fontainebleau – Figure 12

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,23 V/m et 2,8 V/m avec un niveau moyen de 1,31 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service, il varie entre 0,25 V/m et 3,4 V/m avec un niveau moyen de 1,35 V/m.

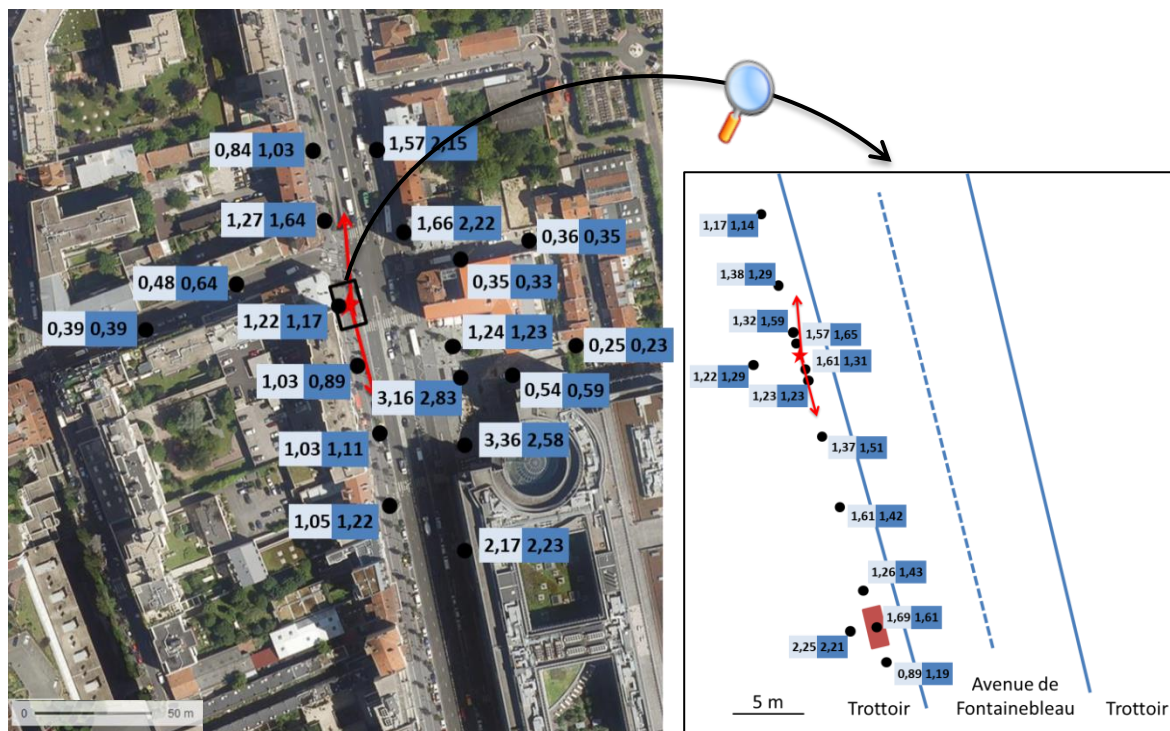


Figure 11 : cartes des résultats de mesures autour du site 52 avenue de Fontainebleau

### Détails des résultats de mesures sur le site 6 avenue Eugène Thomas– Figure 12

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,1 V/m et 0,95 V/m avec un niveau moyen de 0,35 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service dans la configuration initiale, il varie entre 0,15 V/m et 1,5 V/m avec un niveau moyen de 0,6 V/m.

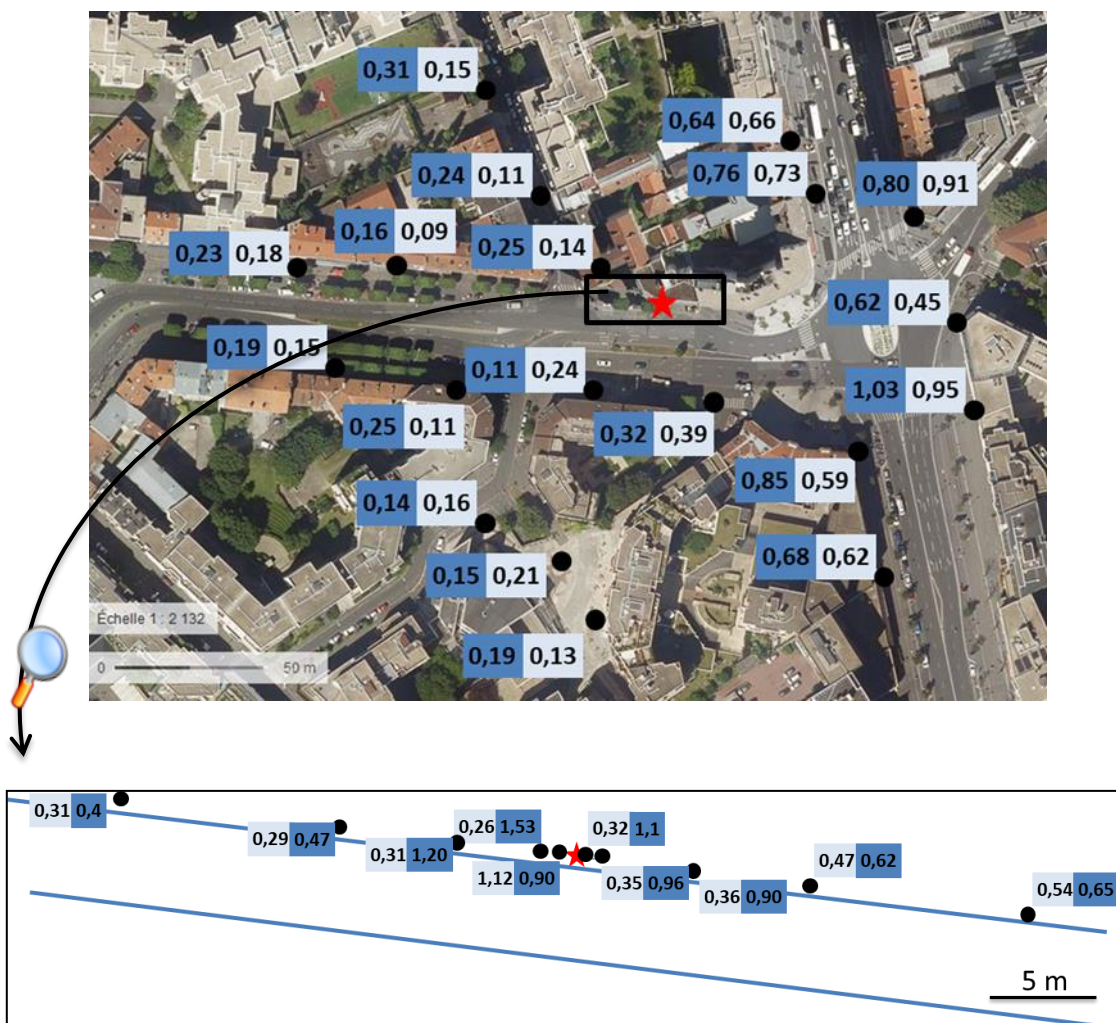


Figure 12 : cartes des résultats de mesures autour du site 6 avenue Eugène Thomas

### Détails des résultats de mesures sur le site 2 rue Edmond Michelet – Figure 13

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,15 V/m et 0,45 V/m avec un niveau moyen de 0,45 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service, il varie entre 0,1 V/m et 1,6 V/m avec un niveau moyen de 0,5 V/m.

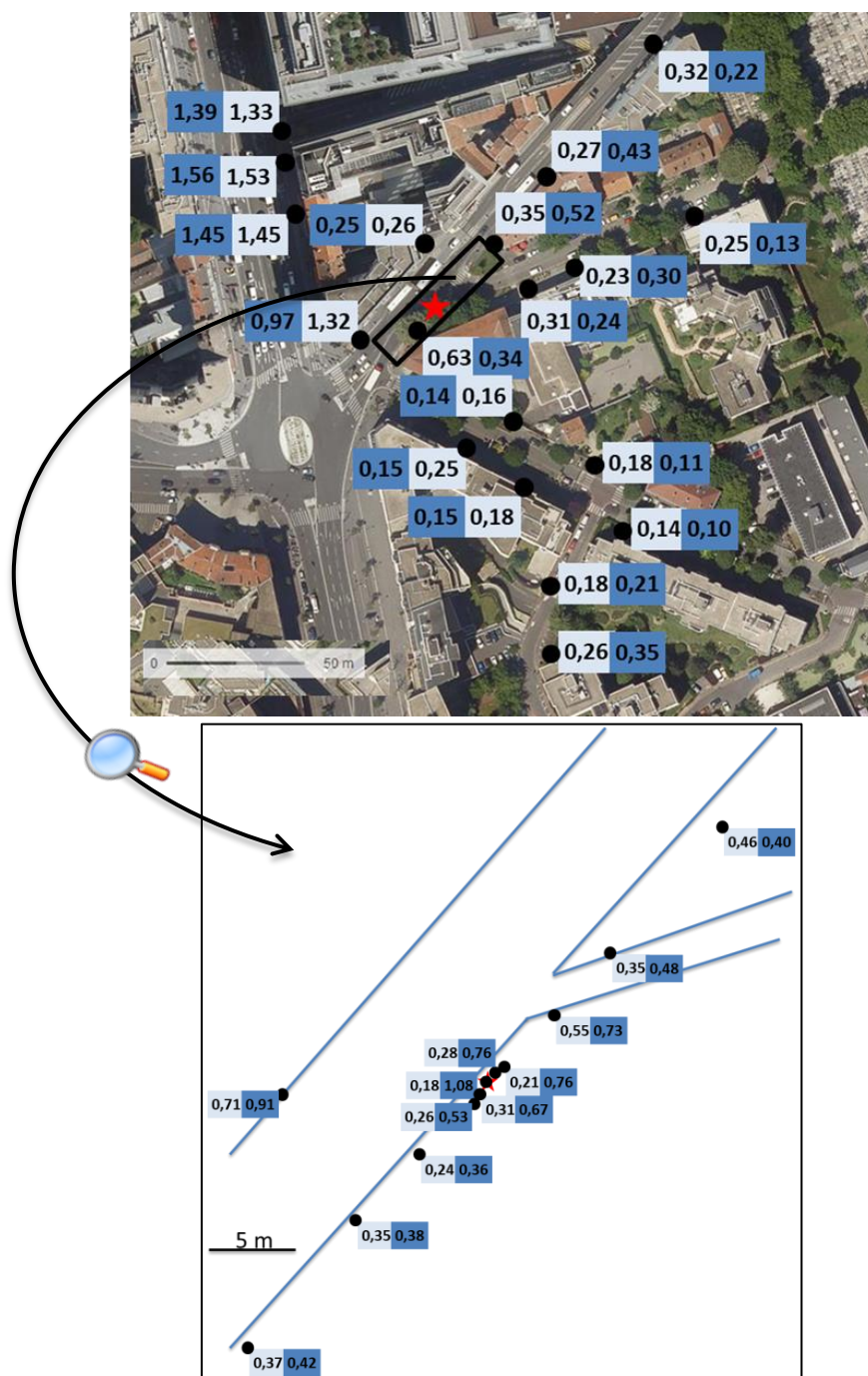


Figure 13 : cartes des résultats de mesures autour du site 2 rue Edmond Michelet



## 4. Conclusion

Un pilote a été mené au Kremlin-Bicêtre pour tester le déploiement, sur une zone délimitée, de petites antennes de réseaux mobiles à faible puissance installées sur du mobilier urbain. Ce déploiement pilote avait pour objet de tester la performance de ce nouveau réseau, qui préfigure les réseaux de demain en zone urbaine dense.

L'étude s'inscrit dans le cadre d'une réflexion générale de déploiement à grande échelle d'un réseau d'antennes à faible puissance venant compléter le réseau mobile actuel, essentiellement constitué d'antennes longue portée dites « macro ». Cette évolution permettra d'améliorer la couverture et la connectivité sur tout le territoire, à l'heure où la population utilise de plus en plus les réseaux mobiles pour communiquer, s'informer, se distraire. Il est en effet estimé que d'ici 2023, le trafic mobile en France sera multiplié par 8 à 10 environ. C'est également un enjeu pour les collectivités locales, car le raccordement du mobilier urbain en fibre optique nécessaire pour l'accueil des petites antennes ouvrira également des possibilités de nouveaux services innovants dans le contexte de la « ville intelligente ».

La ville du Kremlin Bicêtre a donc accueilli entre décembre 2017 et avril 2018 le troisième et dernier déploiement pilote<sup>4</sup> de cette étude, sur le réseau 4G de l'opérateur SFR dans la bande de fréquence, 1 800 MHz. Quatre sites ont été intégrés dans deux Abribus et deux panneaux publicitaires JCDecaux de type « sénior ».

L'analyse des résultats confirme que le déploiement de petites antennes permet d'améliorer les débits en moyenne sur les parcours dans le sens montant jusqu'à un facteur quatre selon la couverture préexistante. Par ailleurs, le débit offert en téléchargement par ces petites antennes peut augmenter jusqu'à un facteur 10. La mesure de l'exposition aux ondes émises par le réseau d'antennes, quant à elle, a montré que, dans un rayon de 100 mètres autour des sites, le niveau d'exposition moyen mesuré lorsque les petites antennes sont en service se situait entre 0,4 V/m et 1,3 V/m. Lorsque les petites antennes sont éteintes, ce niveau moyen dans la même zone varie entre 0,4 V/m et 1,2 V/m. En outre, localement à proximité immédiate des petites antennes (à quelques mètres), le niveau d'exposition apparaît du même ordre de grandeur que celui que peut créer le réseau actuel longue portée (entre 1 V/m et 3 V/m).

Ce rapport constitue donc le troisième et dernier bilan intermédiaire. Les résultats complets de l'étude porteront sur les mesures réalisées sur les trois pilotes.

---

<sup>4</sup> Les premiers pilotes s'étaient déroulés à Annecy et Montreuil et avaient fait l'objet de rapports disponibles à l'adresse suivante <https://www.anfr.fr/petites-antennes/>