

CONNECTIVITE URBAINE

# Rapport technique sur le déploiement pilote de petites antennes à Montreuil

pour favoriser l'accès au très haut débit mobile

Décembre 2018

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction.....  | 3  |
| 2. Déploiement pilote de petites antennes à Montreuil.....  | 5  |
| 2.1. Zone pilote.....   | 5  |
| 2.2. Type d’antennes utilisées.....   | 6  |
| 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 pour chaque site de l’expérimentation..... | 11 |
| 3.3. Mesures complémentaires sur le site Jean-Jaurès avec une nouvelle configuration .....                  | 12 |
| 4. Conclusion .....   | 18 |

## 1. Introduction

Les réseaux mobiles actuels sont essentiellement constitués d'équipements radio de 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.

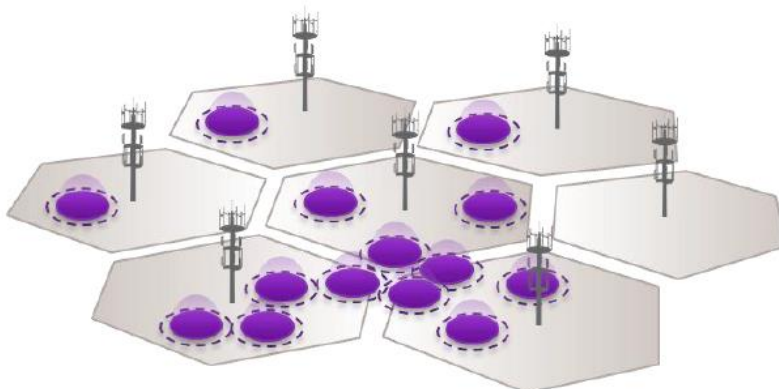


Figure 1 : illustration d'un réseau hétérogène composé d'antennes macro et de petites antennes

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 utilisées. Ces pilotes visent à mesurer l'apport de ces petites antennes pour la connectivité de la population. Les pilotes ont également pour objectif de mesurer l'exposition du public afin de mieux évaluer l'effet de ces petites antennes dans leur voisinage.

Un premier pilote a déjà eu lieu à Annecy en janvier 2017 sur le réseau 4G de l'opérateur Orange dans la bande de fréquence 2 600 MHz<sup>1</sup>. Elle a permis d'apporter des premiers résultats positifs sur la performance de ce nouveau réseau, 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 la deuxième expérimentation menée dans la ville de Montreuil durant 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. Des mesures complémentaires ont également été réalisées entre décembre 2017 et janvier 2018 pour tester une nouvelle configuration. Dans le cas de cette étude, cinq sites ont été intégrés dans des Abribus, du mobilier urbain pour l'information JCDecaux

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

ainsi que dans une colonne Morris. Le chapitre 2 présente la zone d'expérimentation et le type d'antennes utilisées. Le chapitre 3 est consacré aux résultats obtenus sur cette deuxième expérimentation.

## 2. Déploiement pilote de petites antennes à Montreuil

### 2.1. Zone pilote

L'opérateur Bouygues Telecom a installé sa zone pilote dans les quartiers du centre-ville, de Bobillot et du Bas Montreuil-République (cf. Figure 2). L'expérimentation a duré un peu plus d'un mois entre le 12 juillet 2017 et le 18 août 2017. Le site place Jean-Jaurès a fait l'objet de tests complémentaires entre décembre 2017 et janvier 2018.

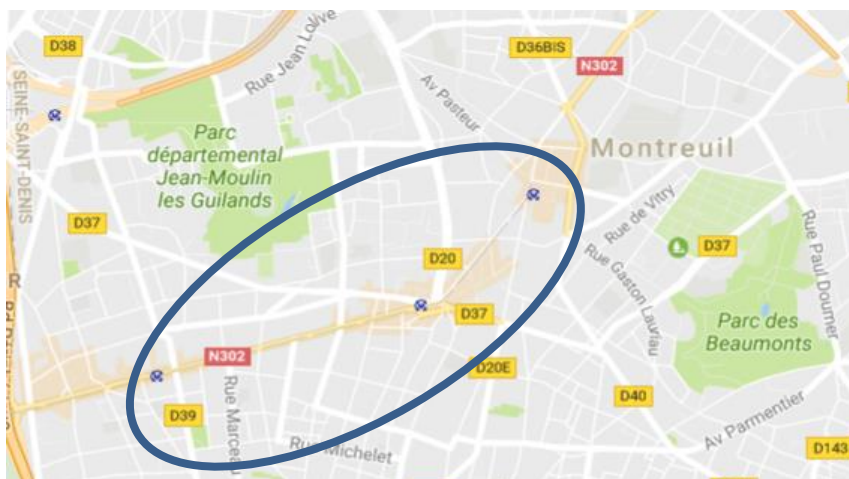


Figure 2 : zone d'expérimentation

Les petites antennes fonctionnent sur le réseau 3G 2 100 MHz et sur le réseau 4 G dans les bandes de fréquence 1 800 MHz et 2 600 MHz. Elles ont été installées (cf. Figure 3) dans cinq sites (matérialisées par ★) de mobilier urbain JCDecaux pour compléter le réseau actuel d'antennes longue portée (matérialisées par □)

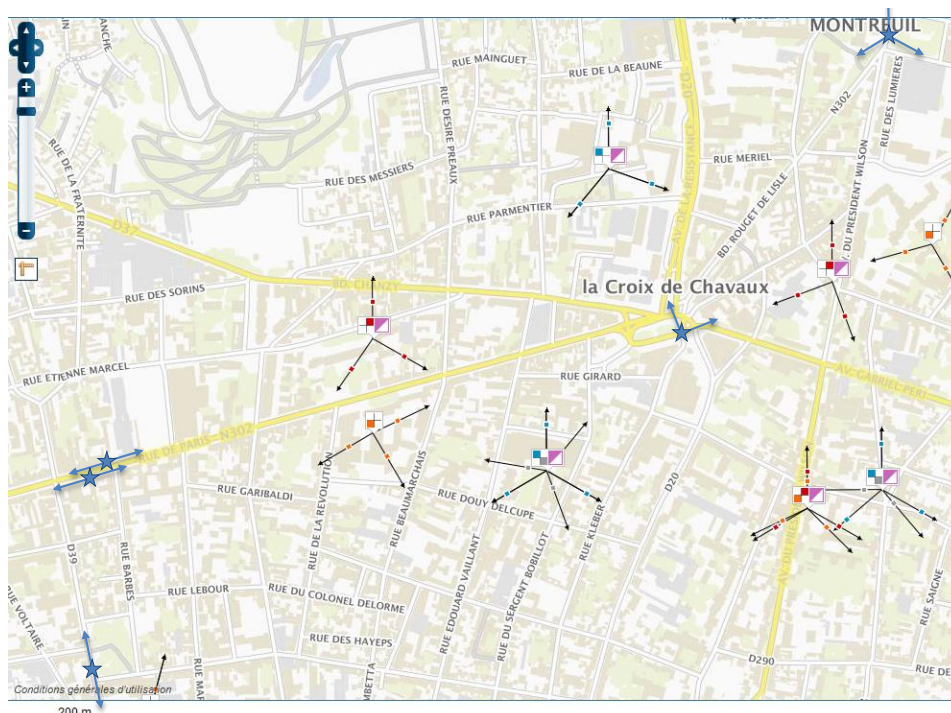


Figure 3 : localisation des petites antennes

Le déploiement des petites antennes dans le mobilier urbain permet d'intégrer l'équipement radio très rapidement, sans travaux complexes, et en minimisant l'impact visuel de ces équipements.

Dans le cadre de l'expérimentation de Montreuil, trois types de mobilier urbain JCDecaux ont été utilisés (cf. Figure 4): l'Abribus, la colonne Morris et le panneau d'affichage MUPI (Mobilier Urbain Pour l'Information).

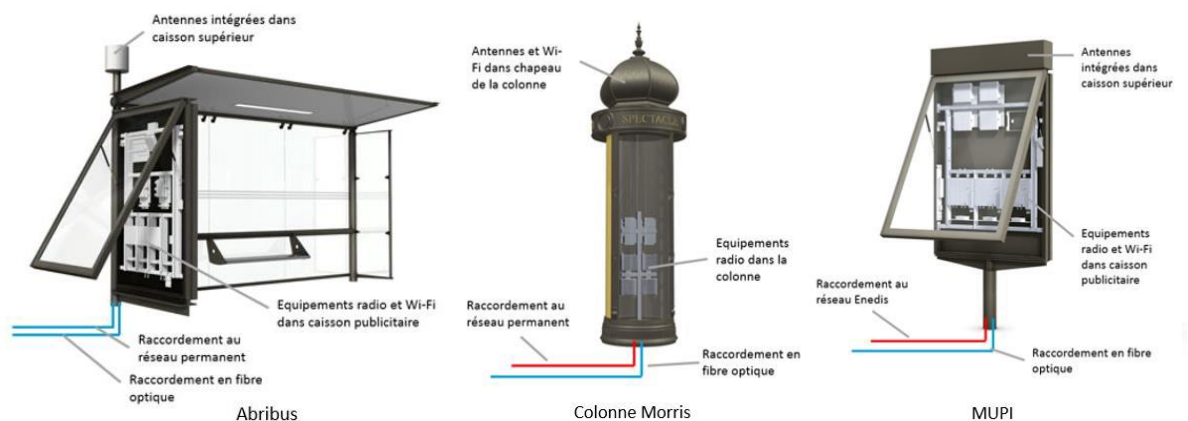


Figure 4 : intégration des petites antennes au mobilier urbain JCDecaux

## 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 : puissance de l'ampoule et 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 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 »;

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

- **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, 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 est ainsi en général constitué de trois antennes, orientées dans trois directions (cf. Figure 5). Pour focaliser leur puissance, ces antennes présentent 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.

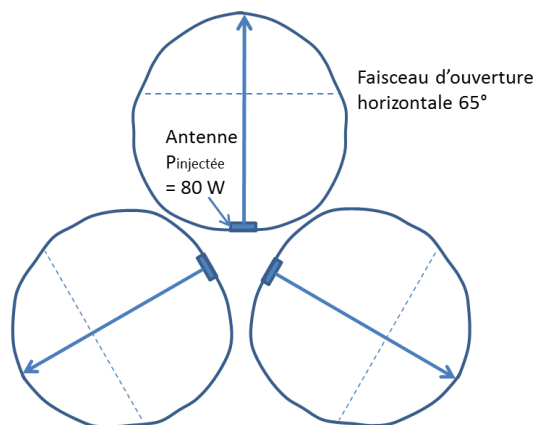


Figure 5 : vue de dessus d'un site comportant trois antennes macros

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 longues portées, 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, sera 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

<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)

antennes actuelles 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 l'expérimentation de Montreuil, en technologie 3G et 4G. Les « petites antennes » utilisées à Montreuil 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). Le périmètre de sécurité de ce type d'antenne 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.

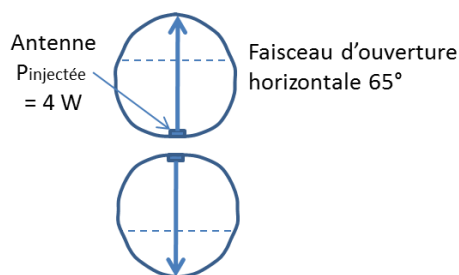


Figure 6 : vue de dessus d'un site micro contenant deux antennes micros

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

|                                     | <b>Antenne moyenne portée</b> | <b>Antenne longue portée</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 °                    |

Par ailleurs, la technique de l'agrégation de porteuses (CA pour carrier aggregation en anglais) est activée sur le réseau 4G de Bouygues Telecom. L'agrégation de porteuses est une technique permettant d'augmenter les débits de données en regroupant plusieurs bandes de fréquences pour servir un utilisateur. Les débits maximaux sont proportionnels au nombre de porteuses utilisées.

Dans le cas de Montreuil, sur le réseau d'antennes longues portées, l'utilisateur peut bénéficier de l'agrégation des 3 fréquences que Bouygues Telecom exploite en 4G (800 MHz, 1 800 MHz et 2 600 MHz). Lorsque l'utilisateur est connecté à une petite antenne, l'utilisateur peut bénéficier de





l'agrégation des 2 fréquences 4G des petites antennes (1 800 MHz et 2 600 MHz). Cette technique est mise en œuvre pour le lien descendant (envois de fichiers du réseau vers le mobile).

### 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 de l'expérimentation. Les parcours ont été réalisés plusieurs fois en sollicitant le téléphone sur chacune des bandes de fréquences utilisées par les petites antennes et également en laissant le mobile libre de se connecter à n'importe quelle bande de fréquences. De plus, chaque configuration est testée deux fois, une fois lorsque les petites antennes sont en service et une fois lorsqu'elles ne le sont 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.

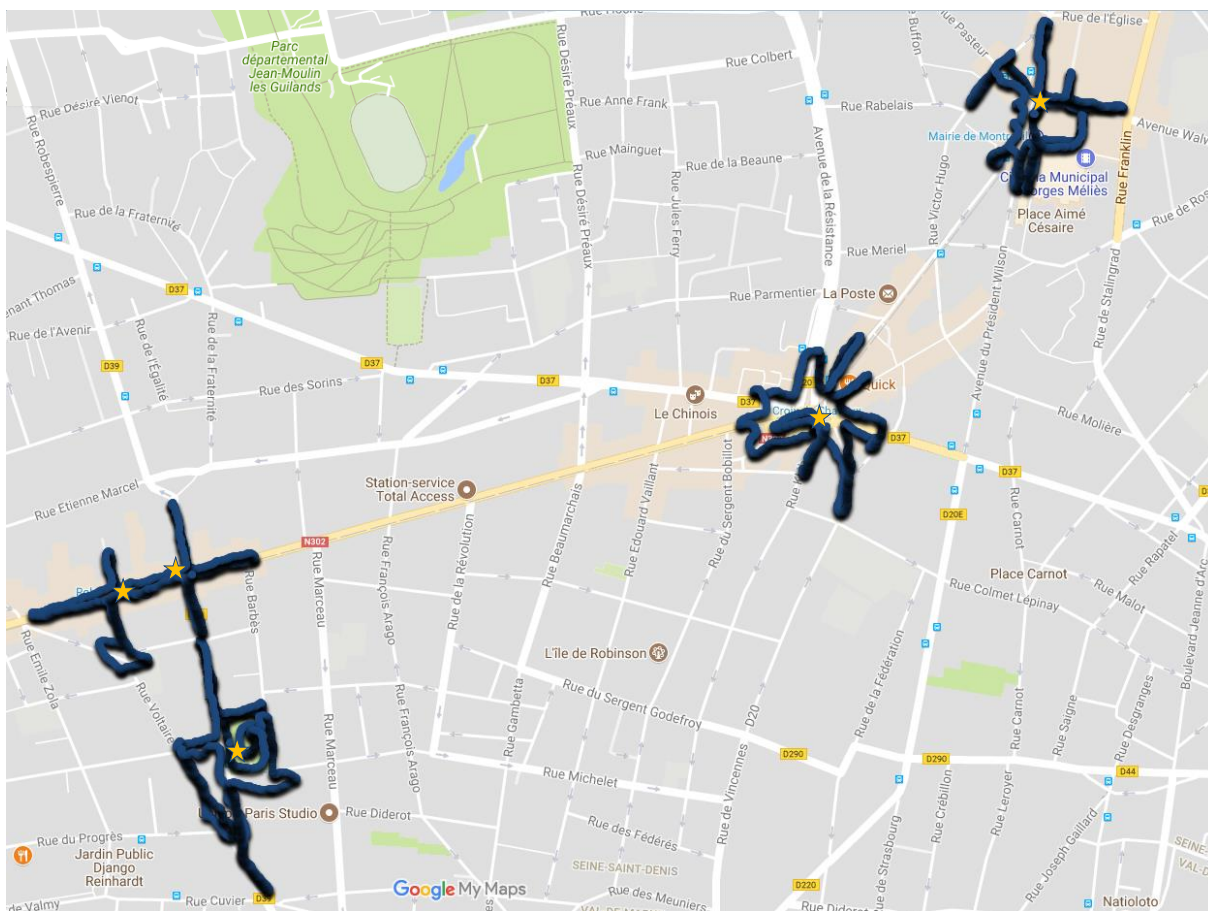


Figure 7 : parcours réalisés autour des sites avec le mobile à trace permettant d'enregistrer différents paramètres radio

L'analyse préliminaire des résultats de ces mesures en mobilité a montré que le déploiement de 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 atteint jusqu'à 25 Mbits/s en moyenne sur les parcours et jusqu'à 35 Mbits/s en valeur maximale. En outre, les puissances d'émission du mobile sont fortement atténuées (d'un facteur deux à quatre en moyenne selon la configuration) sur le réseau de petites antennes par rapport au réseau longue portée, ce qui diminue considérablement l'exposition aux ondes émises par le mobile.

Par ailleurs, le débit maximal offert en téléchargement par ces petites antennes peut augmenter jusqu'à un facteur 12 pour atteindre jusqu'à 200 Mbits/s notamment grâce à l'agrégation des deux porteuses 4G des petites antennes.

### 3.2. Mesures d'exposition sous accréditation en des points fixes pour chaque site de l'expérimentation

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 du site (relevés intermédiaires de niveau de champ électrique à 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 0,3 V/m et 0,55 V/m (cf. Figure 8). Lorsque les petites antennes sont éteintes, ce niveau moyen dans la même zone varie entre 0,25 V/m et 0,55 V/m.

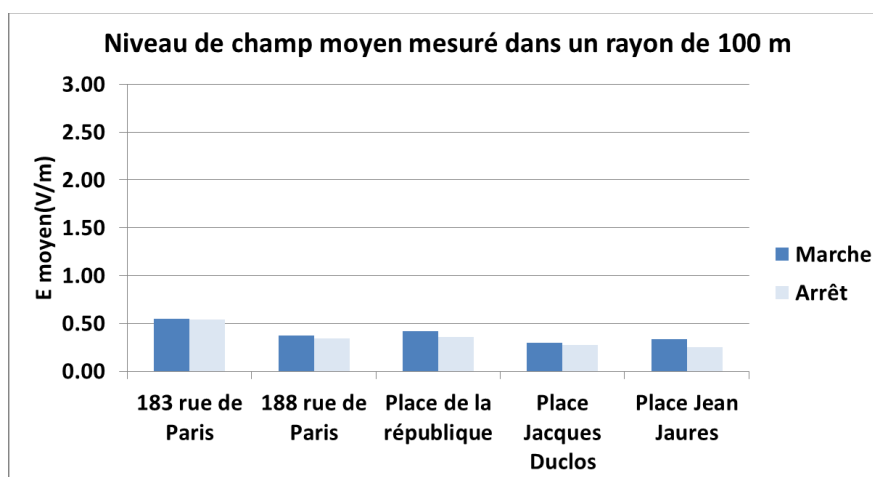


Figure 8 : niveau d'exposition moyen mesuré dans des zones de 100 mètres autour des sites quand les petites antennes sont arrêtées ou en marche

Ces mesures ont également montré que localement, à proximité immédiate des petites antennes (à moins de deux mètres), le niveau d'exposition maximal mesuré varie entre 0,5 et 1,5 V/m selon la bande de fréquences considérée (cf. Figure 9). Le niveau d'exposition maximal global évalué sur toute la bande de fréquences 100 kHz – 6 GHz (cf. Figure 9) varie entre 1 V/m et 3 V/m, c'est-à-dire qu'il est comparable à celui que peut créer le réseau actuel d'antennes longue portée.

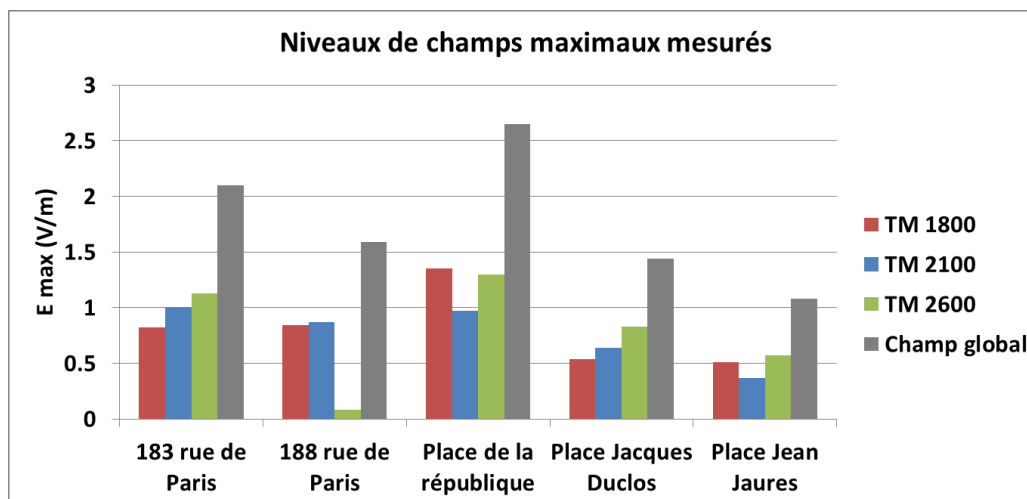


Figure 9 : niveaux maximaux mesurés à proximité des sites lorsque les petites antennes sont en marche

Ces niveaux, valables pour cette expérimentation à la date des mesures, sont très faibles par rapport aux valeurs limites réglementaires qui varient entre 58 et 61 V/m dans les bandes de fréquences utilisées par ces petites antennes.

### 3.3. Mesures complémentaires sur le site Jean-Jaurès avec une nouvelle configuration

En complément de l'expérimentation menée à l'été 2017, l'opérateur a testé une nouvelle configuration mono-fréquence globalement environ cinq fois plus puissante en 4G à 2600 MHz sur le site Jean-Jaurès. Un nouvel essai a donc été réalisé sous accréditation Cofrac selon le protocole ANFR DR15-3.1 de l'ANFR publié au journal officiel. La Figure 10 compare les résultats des essais réalisés sur le site Jean-Jaurès dans cette nouvelle configuration par rapport à la configuration initiale et à la configuration petite antenne éteinte.

En moyenne dans la zone de 100 m autour du site, le niveau d'exposition augmente avec cette nouvelle configuration tout en restant très faible par rapport aux valeurs limites réglementaire et en restant comparable au niveau d'exposition moyen observé en milieu urbain avec un réseau d'antennes macro.

Le niveau de champ maximal mesuré est logiquement plus élevé dans cette configuration plus puissante: environ 2,6 fois plus élevé, ce qui est cohérent avec le fait que la puissance soit 5 fois plus élevée. Ce niveau reste toutefois comparable à celui que peut créer le réseau actuel d'antennes longue portée.

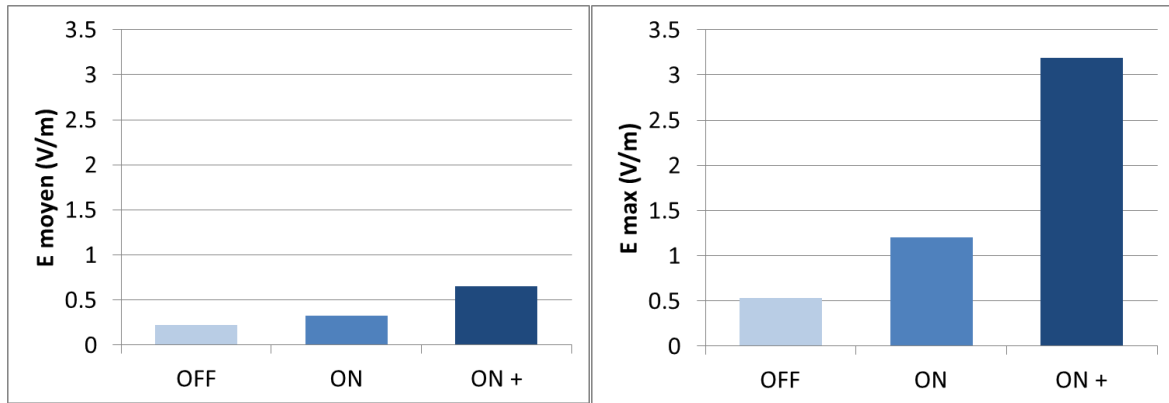


Figure 10 : comparaison pour le site Jean-Jaurès des valeurs moyennes dans la zone de 100 m (à gauche) et des valeurs maximales (à droite) lorsque la petite antenne est éteinte (OFF), est allumée dans la configuration initiale multi technologie (ON) et est allumée dans la configuration mono-technologie cinq fois plus puissante (ON+)

### Détails des résultats de mesures sur le site Place de la République – Figure 11

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,1 V/m et 1 V/m avec un niveau moyen de 0,3 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service, il varie entre 0,1 V/m et 2,5 V/m avec un niveau moyen de 0,7 V/m.

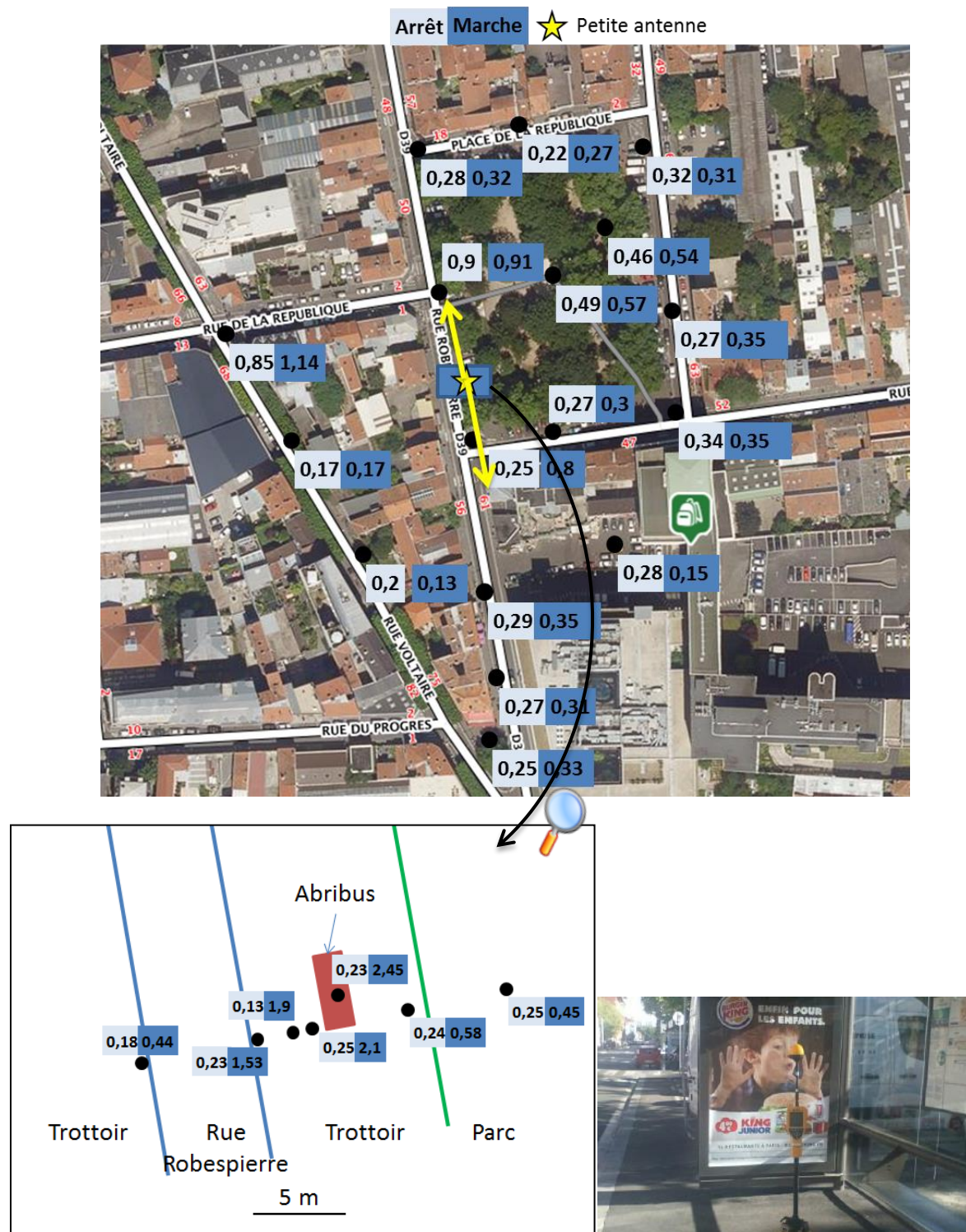


Figure 11 : cartes des résultats de mesures autour du site Place de la République

### Détails des résultats de mesures sur les sites rue de Paris – Figure 12

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,1 V/m et 1,75 V/m avec un niveau moyen de 0,5 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service, il varie entre 0,2 V/m et 2,1 V/m avec un niveau moyen de 0,9 V/m.

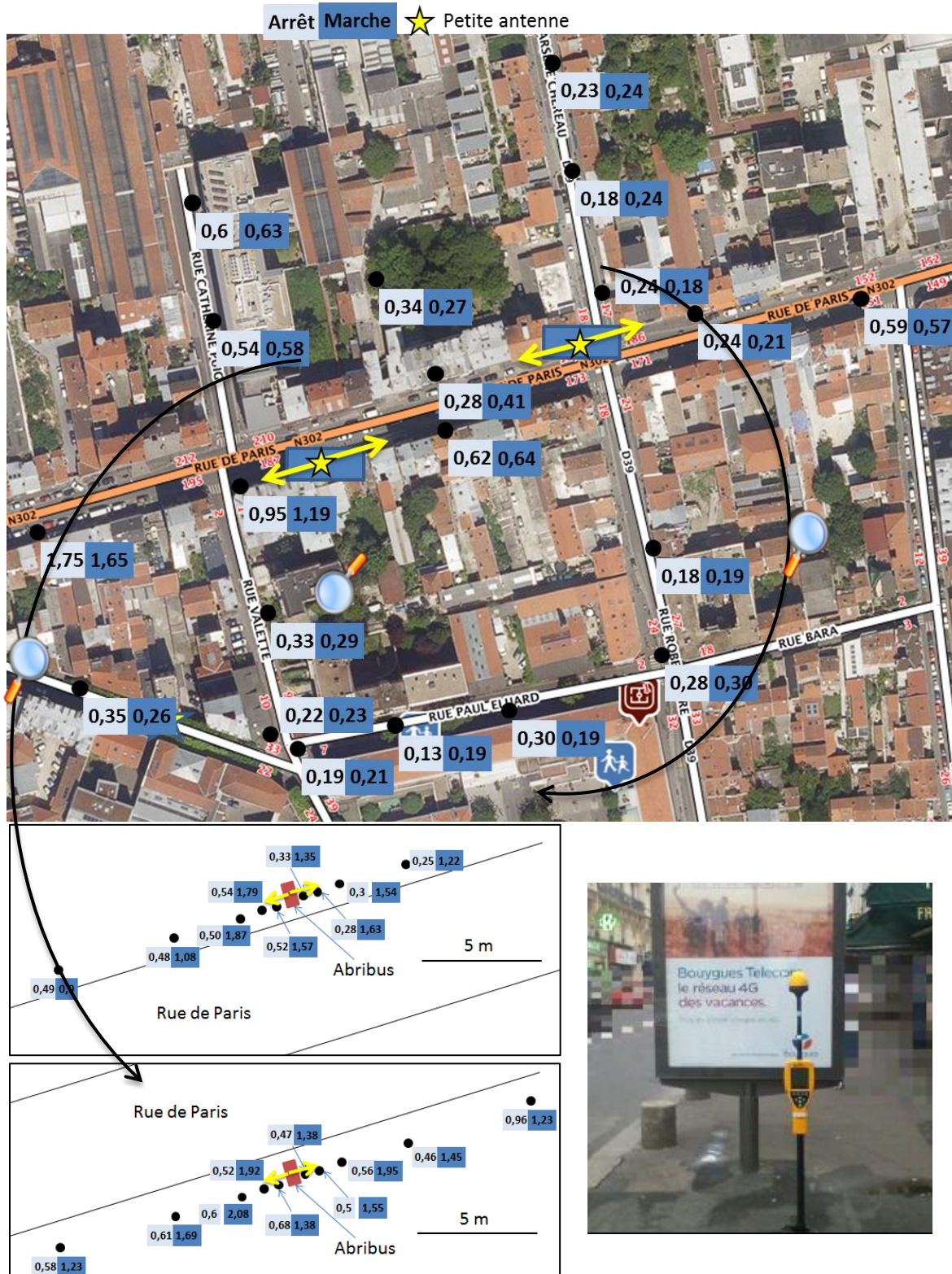


Figure 12 : cartes des résultats de mesures autour des sites rue de Paris

### Détails des résultats de mesures sur le site Place Jean-Jaurès – Figure 13

Sur ce site, lorsque les petites antennes sont éteintes, le niveau d'exposition varie entre 0,1 V/m et 0,5 V/m avec un niveau moyen de 0,25 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service dans la configuration initiale, il varie entre 0,1 V/m et 1,2 V/m avec un niveau moyen de 0,4 V/m. Dans la configuration complémentaire plus puissante mais mono-fréquence, il varie de 0,1 V/m à 3,2 V/m avec un niveau moyen de 0,9 V/m.

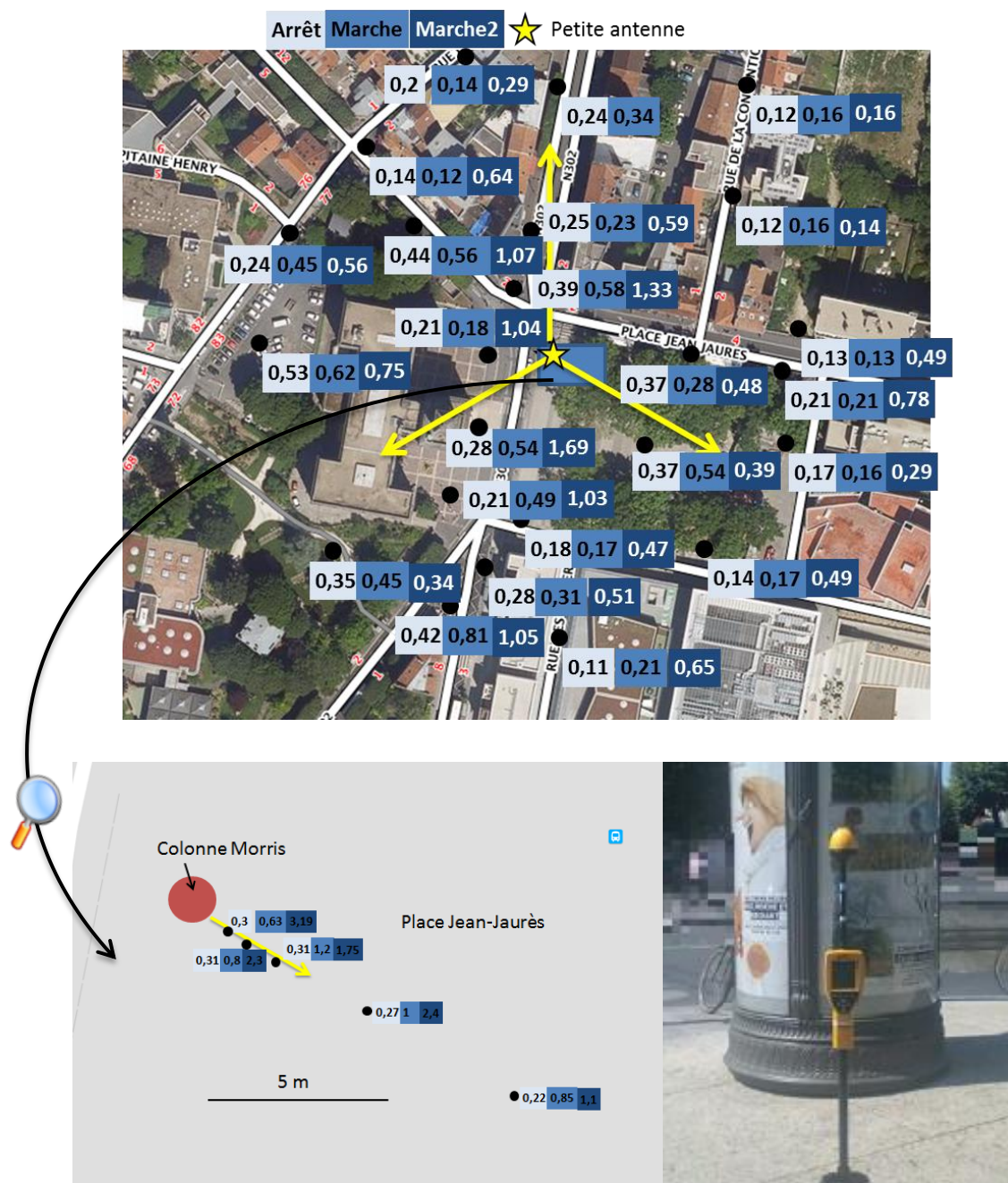


Figure 13 : cartes des résultats de mesures autour du site place Jean-Jaurès (Marche 2 = configuration complémentaire mono-fréquence plus puissante)



**Détails des résultats de mesures sur les sites place Jacques Duclos (croix de Chavaux) – Figure 14**

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 0,3 V/m. Lorsque les petites antennes sont en service, il varie entre 0,051 V/m et 1,4 V/m avec un niveau moyen de 0,45 V/m.

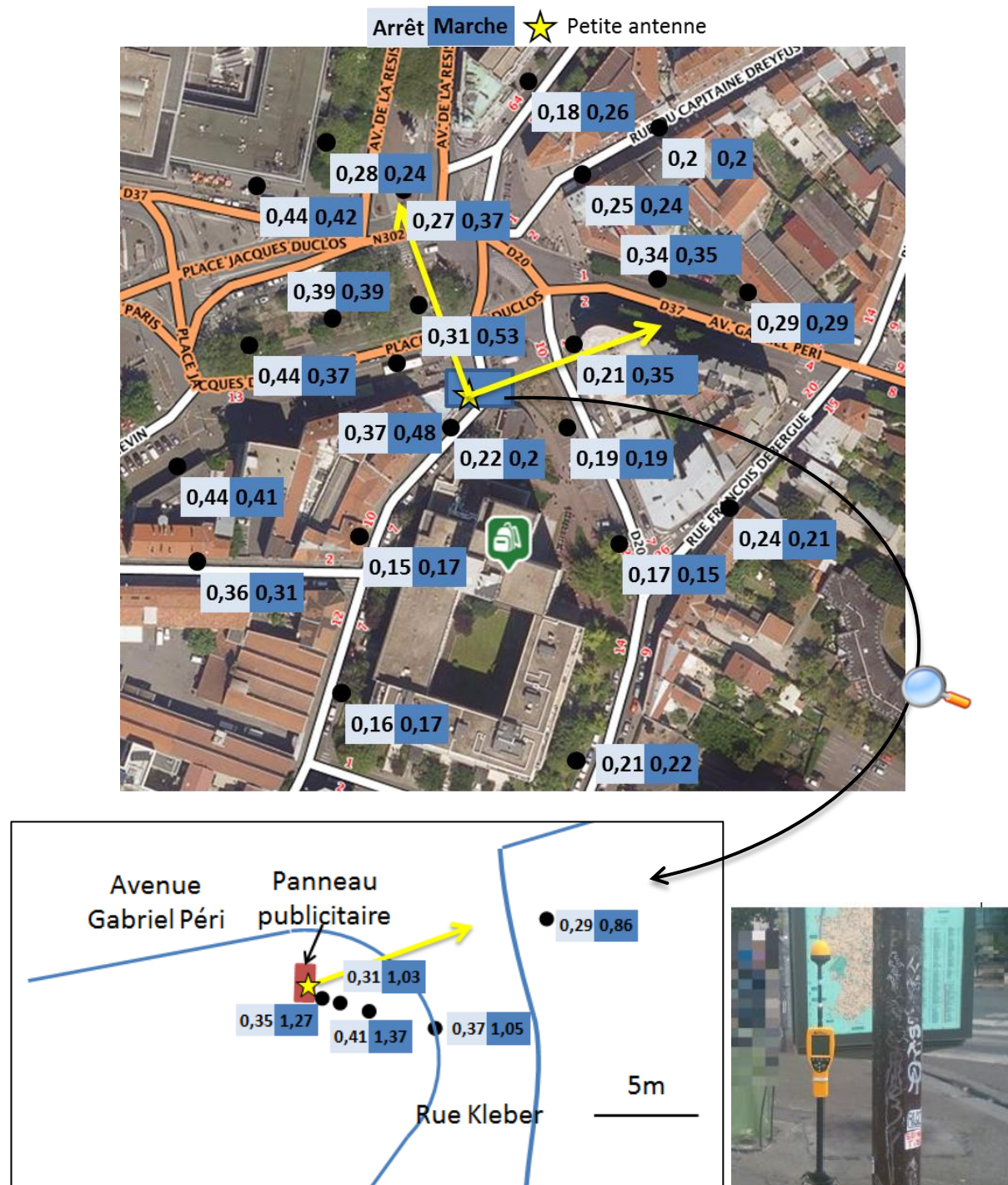


Figure 14 : cartes des résultats de mesures autour du site place Jacques Duclos

## 4. Conclusion

Un pilote a été mené à Montreuil pour tester le déploiement, sur une zone délimitée, de petites antennes de réseaux mobiles à faible puissance installées sur du mobilier urbain. Cette expérimentation avait pour objet de tester la performance de ce nouveau réseau, qui préfigure les réseaux de demain en matière de téléphonie mobile.

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 pour tous 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 de Montreuil a donc accueilli durant l'été 2017 le deuxième déploiement pilote<sup>4</sup> de cette étude, sur les réseaux 3G et 4G de l'opérateur Bouygues Telecom dans la bande de fréquence 2 100 MHz, 1 800 MHz et 2 600 MHz. Cinq sites ont été intégrés dans des abribus, du mobilier urbain pour l'information JCDecaux ainsi que dans une colonne Morris. Sur un site, une nouvelle configuration mono-fréquence a été testée entre décembre 2017 et janvier 2018.

L'analyse des résultats de cette deuxième expérimentation 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 longue portée existante. Par ailleurs, le débit offert en téléchargement par ces petites antennes peut augmenter jusqu'à un facteur 12 notamment grâce à l'agrégation des deux porteuses 4G utilisées. En outre, les puissances d'émission du mobile sont fortement atténuées (d'un facteur deux à quatre en moyenne selon la configuration) sur le réseau de petites antennes par rapport au réseau longue portée, ce qui diminue l'exposition aux ondes émises par le mobile. La mesure de l'exposition aux ondes émises par le réseau d'antennes a montré que dans un rayon de 100 mètres autour des sites, le niveau d'exposition moyen mesuré lorsque les petites antennes sont allumées varie entre 0,3 V/m et 0,55 V/m. Lorsque les petites antennes sont éteintes, ce niveau moyen dans la même zone varie entre 0,25 V/m et 0,55 V/m. En outre, localement à proximité immédiate des petites antennes (à quelques mètres), le niveau d'exposition est du même ordre de grandeur que celui que peut créer le réseau actuel longue portée (entre 1 V/m et 3 V/m).

Des déploiements pilotes avec des petites antennes ont également été menés au dernier trimestre 2017 et premier trimestre 2018 sur le réseau de SFR dans la commune du Kremlin-Bicêtre. Ce dernier pilote viendra compléter la caractérisation de ce type de déploiement en termes de performance et

---

<sup>4</sup> La première expérimentation s'était déroulée à Annecy et avait fait l'objet d'un rapport disponible à l'adresse suivante <https://www.anfr.fr/petites-antennes/>

de niveau d'exposition aux ondes, avec différentes configurations de mobilier urbain, de technologies et de bandes de fréquences utilisées.

Ce rapport constitue donc le deuxième bilan intermédiaire. Les résultats complets de l'étude porteront sur les mesures réalisées sur les trois expérimentations.