

CONNECTIVITE URBAINE

Rapport technique sur les déploiements pilotes de petites antennes en France

pour favoriser l'accès au très haut débit mobile

Décembre 2018

Synthèse

Une réflexion générale a été menée sur le déploiement de réseaux de petites antennes à faible puissance venant compléter les réseaux mobiles actuels, essentiellement constitués d'antennes longue portée dites « macro ». Cette évolution permettra d'améliorer la couverture et la connectivité dans les zones urbaines denses, 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 avec l'essor attendu de la 5G. Cette nouvelle architecture constitue 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 ».

Les villes d'Annecy, de Montreuil et du Kremlin-Bicêtre ont accueilli en 2017 et 2018 des déploiements pilotes de petites antennes 4G sur du mobilier urbain. Différentes configurations ont été testées notamment en termes de mobilier urbain utilisé (Abribus, panneaux d'information ou colonnes Morris), de bandes de fréquences utilisées (4G 1800 MHz et 4G 2600 MHz) et de zones d'implantation plus ou moins denses.

Ce rapport prend en compte les résultats obtenus sur les trois pilotes pour établir une synthèse globale. L'analyse montre que le déploiement de petites antennes permet d'améliorer les débits dans le sens descendant (antenne relais vers portable) avec un débit de plus de 50 Mb/s dans environ 50% des cas sur les petites antennes, contre un débit de 30 Mb/s en moyenne sur le réseau macro actuel. Une amélioration est également constatée dans le sens montant (portable vers antenne relais) avec un débit de plus de 20 Mb/s dans 75% des cas en présence de petites antennes contre un débit de 11 Mb/s en moyenne sur le réseau macro actuel.

En fonction de la couverture initiale du réseau macro et des charges des réseaux, le déploiement des petites antennes permet soit de diminuer la puissance d'émission du mobile (en gardant des débits comparables à ceux obtenus sur le réseau macro), soit d'augmenter le débit (en gardant des puissances d'émission comparables à celles obtenues sur le réseau macro). Dans tous les cas, le bilan sur l'exposition du public aux ondes apparaît positif. L'exposition réelle de l'utilisateur à son mobile est en moyenne plus faible ou dure moins longtemps lorsque le mobile se connecte à une petite antenne que lorsque le mobile se connecte au réseau macro actuel.

Enfin, la mesure de l'exposition aux ondes émises par les petites antennes a montré que, localement, à proximité immédiate des petites antennes, le niveau d'exposition est du même ordre de grandeur que celui que peut créer un réseau macro (de l'ordre de 1 à 3 V/m). Dans une zone plus large de 100 mètres autour des petites antennes, le niveau d'exposition moyen n'est pas modifié par la mise en service des petites antennes. Il apparaît comparable au niveau d'exposition moyen observé au niveau national (de l'ordre de 0,7 V/m).

Table des matières

1. Introduction.....	4
2. Les pilotes.....	5
2.1. Antennes utilisées	5
2.2. Localisation.....	7
3. Evaluation de l'exposition du public aux ondes à proximité des petites antennes	9
3.1. Exposition créée par les petites antennes.....	9
3.2. Exposition créée par les mobiles	10
4. Résultats de l'évaluation de l'exposition du public aux ondes	11
4.1. Exposition liée aux petites antennes.....	11
4.2. Exposition liée aux mobiles	12
4.3. Lien entre l'exposition créé par la petite antenne et l'exposition au mobile	15

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 devrait être 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.

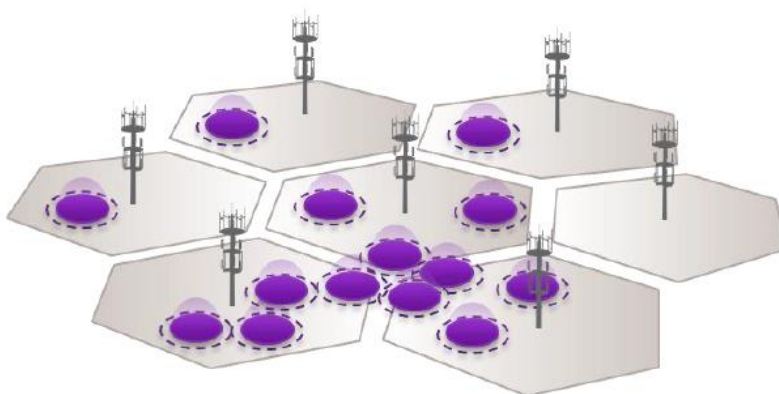


Figure 1 : illustration d'un réseau hétérogène composé d'antennes macro et de petites antennes

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

L'étude globale a porté sur des pilotes avec différents opérateurs pour tester le déploiement de petites antennes à faible puissance installées sur du mobilier urbain. Différentes configurations ont été testées, notamment en termes de mobilier urbain utilisé, de technologies et de bandes de fréquences mises en œuvre. Ces pilotes visaient à mesurer l'apport de ces petites antennes pour la connectivité de la population. Ils avaient également pour objectif de mesurer l'exposition du public afin de mieux évaluer l'effet de ces petites antennes dans leur voisinage. Chacun des pilotes a fait l'objet d'une publication spécifique¹. Ce rapport s'appuie sur les résultats obtenus sur les trois pilotes pour établir une synthèse globale.

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

2. Les pilotes

2.1. 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 internationaux² :

- **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 qualifiées 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 2). 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.

² ETSI TS 125.104 (3GPP TS 25.104) et ETSI TS 136.104 (3GPP TS 36.104)

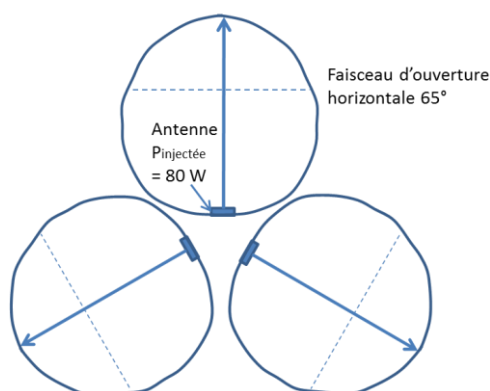


Figure 2 : vue de dessus d'un site comportant trois antennes macros

Autour d'une antenne, il est obligatoire de respecter un périmètre de sécurité³, 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, pour répondre aux 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 lors des pilotes. Les « petites antennes » utilisées 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 3). 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.

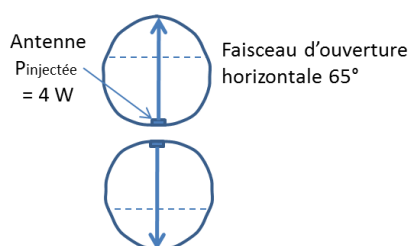


Figure 3 : vue de dessus d'un site micro contenant deux antennes micros

³ 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

A titre de comparaison, voici les caractéristiques techniques généralement utilisées, d'une part, pour une petite antenne du même type que celles en général déployées dans le cadre de ces pilotes et, d'autre part, pour une antenne longue portée utilisée pour diffuser la 4G :

	Antenne moyenne portée	Antenne longue portée
Puissance typique maximale	4 W (36 dBm)	80 W (49 dBm)
Gain d'antenne	6 (8 dBi)	50 (17 dBi)
Angle d'ouverture horizontal	60° - 70°	60°- 90 °
Angle d'ouverture vertical	35° à 70°	~5 à 10 °

2.2. Localisation

Les zones pilotes ont été choisies par les opérateurs en fonction de l'organisation de leur réseau préexistant et en accord avec les municipalités. Les pilotes ont tous été réalisés en milieu urbain, mais avec des densités de population différentes (cf. tableau ci-dessous). Les pilotes ont principalement été menés en 4G sur des bandes de fréquences différentes selon les opérateurs.

L'objectif général de l'étude est d'analyser l'impact du déploiement de ces petites antennes dans différentes configurations offertes par ces différents pilotes. Il ne s'agit pas de comparer les réseaux mais de prendre en compte les différentes configurations testées pour établir une synthèse globale.

Caractéristique	Pilote 1	Pilote 2⁴	Pilote 3
Ville	Annecy	Montreuil	Le Kremlin Bicêtre
Densité de population	1 900 hab/km ²	12 000 hab/km ²	16 600 hab/km ²
Nombre de sites	4	5	4
Bande de fréquences 4G	2600 MHz	1800 MHz 2600 MHz	1800 MHz
Type d'antennes	Directive	Directive	Directive ou omnidirectionnelle
Hauteurs d'installation	3 m	3 m ou 5 m	3 m ou 5 m
Dates d'expérimentations	Janvier-Février 2017	Juillet-Août 2017	Décembre 2017- Avril 2018

Les émetteurs sont intégrés dans du mobilier urbain JCDecaux pour compléter le réseau actuel d'antennes longue portée. 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 de ces pilotes, quatre types de mobilier urbain JCDecaux ont été utilisés (cf. Figure 4) : le panneau d'affichage de type « sénior », la colonne Morris, le panneau d'affichage MUPI (Mobilier Urbain Pour l'Information) et l'Abribus.

⁴ Ce pilote intégrait également la technologie 3G dans la bande de fréquence 2100 MHz mais ne fait pas l'objet d'une analyse spécifique dans cette synthèse car cette technologie n'était pas présente sur les autres pilotes.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4 : différentes possibilités d'intégration des petites antennes au mobilier urbain JCDecaux dans un panneau publicitaire de type « Sénior » (a), dans une colonne Morris (b), dans un panneau publicitaire de type « MUPI » (c) et dans un Atribus (d).

3. Evaluation de l'exposition du public aux ondes à proximité des petites antennes

3.1. Exposition créée par les petites antennes

En France, le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 fixe les valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques. Il transpose la recommandation européenne 1999/519/CE du Conseil du 12 juillet 1999. Pour la téléphonie mobile, ces valeurs limites sont selon les fréquences comprises entre 36 V/m et 61 V/m (cf. Figure 5).

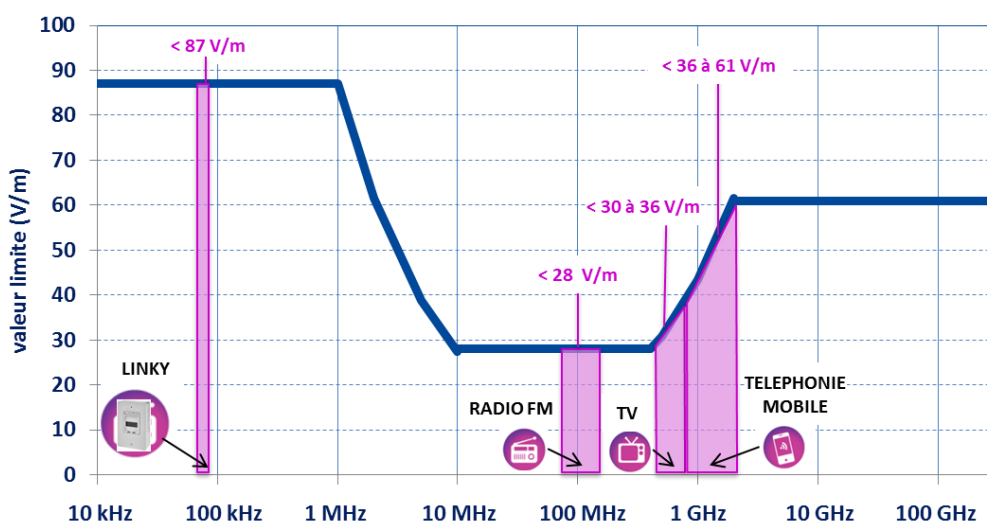


Figure 5 : valeurs limites réglementaires fixées en France par le décret du 3 mai 2002 n° 2002-775

Dans le cadre de ses missions, l'Agence nationale des fréquences (ANFR) veille au respect de ces valeurs limites. Pour cela, elle élabore un protocole de mesure de l'exposition et l'actualise en fonction des évolutions technologiques.

La démarche a consisté en une analyse préalable du voisinage 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. Entre 20 et 30 relevés intermédiaires par site ont été réalisés afin de couvrir une zone de 100 mètres autour de chaque petite antenne, ce qui correspond à la zone de couverture recherchée pour ce type d'antennes. De plus, ce maillage assez large a été complété par un maillage plus fin de relevés intermédiaires à proximité immédiate de chaque site (dans une zone de 20 mètres autour des petites antennes).

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.

Ces mesures ont été réalisées par des laboratoires sous accréditation COFRAC selon le protocole V3.1 de l'ANFR. Ce protocole est décrit en Annexe 1 de ce rapport. Les rapports de mesure sont disponibles sur le site cartoradio.fr.

3.2. Exposition créée par les mobiles

L'évaluation de l'exposition due aux petites antennes a été complétée par une étude de leur impact sur l'exposition liée à l'usage des téléphones mobiles. L'exposition liée au téléphone mobile est fortement corrélée à la puissance d'émission du mobile. Cette puissance d'émission dépend quant à elle principalement de la qualité du lien radio entre le mobile et l'antenne à laquelle il se connecte.

Des mobiles équipés de logiciels de trace permettent d'enregistrer les échanges entre le réseau et le mobile lors de différents usages. Des scripts permettent de tester différents usages, par exemple des appels voix ou des transferts de fichiers (envoi ou réception). Des parcours ont été réalisés avec des mobiles à trace pour couvrir les zones de 100 mètres autour des petites antennes dans lesquelles l'évaluation de l'exposition liée aux petites antennes a été réalisée. Ces mobiles étaient programmés pour passer des appels voix lorsque ce service était disponible sur la technologie supportée par les petites antennes puis envoyer des fichiers de 100 Mo vers un serveur ftp de l'ANFR. Ces tests ont été réalisés à deux reprises : lorsque les petites antennes étaient allumées et lorsque les petites antennes étaient éteintes. Ils ont été réalisés avec un mobile Samsung Galaxy S7 edge équipé de logiciel Handy Nemo de la société Anite.

4. Résultats de l'évaluation de l'exposition du public aux ondes

4.1. Exposition liée aux petites antennes

Les mesures ont été réalisées sous accréditation Cofrac selon le protocole ANFR DR15-3.1 de l'ANFR publié au Journal Officiel.

Dans un rayon de 100 mètres autour des sites, le niveau d'exposition moyen mesuré à 1,5 m de hauteur apparaît très peu dépendant de la mise en service des petites antennes (cf. Figure 6). Lorsque les petites antennes sont activées, ce niveau moyen dans un rayon de 100 m varie selon les sites entre 0,17 V/m et 1,3 V/m. Lorsque les petites antennes sont éteintes, ce niveau moyen varie dans les mêmes zones entre 0,15 V/m et 1,2 V/m.

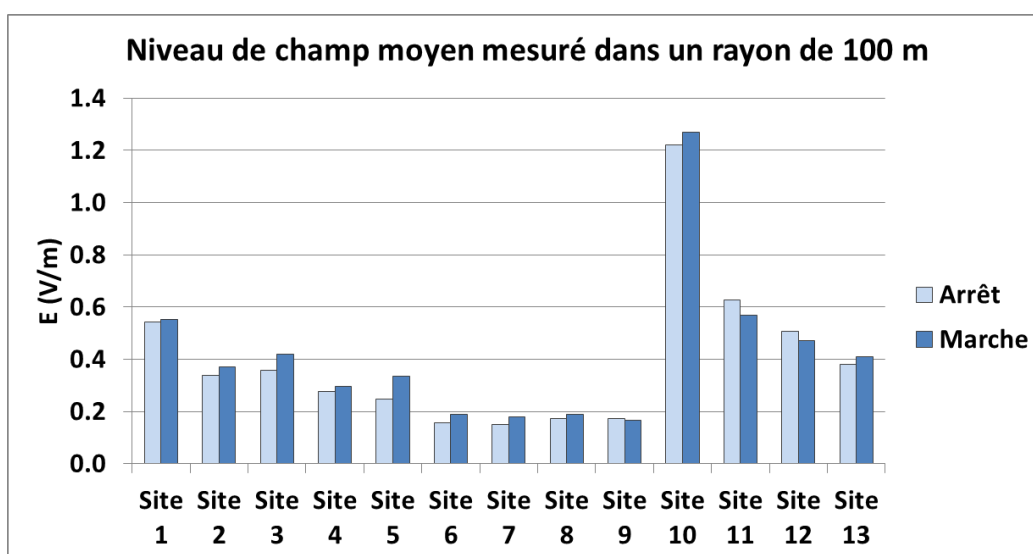


Figure 6 : niveau d'exposition moyen mesuré dans des zones de 100 mètres autour des sites quand les petites antennes sont arrêtées ou en marche

Ces mesures ont également montré qu'à proximité immédiate des petites antennes (moins de deux mètres), le niveau d'exposition maximal global évalué sur toute la bande de fréquences 100 kHz – 6 GHz (cf. Figure 7) varie entre 0,7 V/m et 2,7 V/m, il apparaît donc comparable à celui que peut créer localement le réseau actuel d'antennes longue portée. En effet, l'analyse annuelle des mesures d'exposition du public aux ondes électromagnétiques montre que dans 3 % des cas observés, le niveau global dépasse 3 V/m.

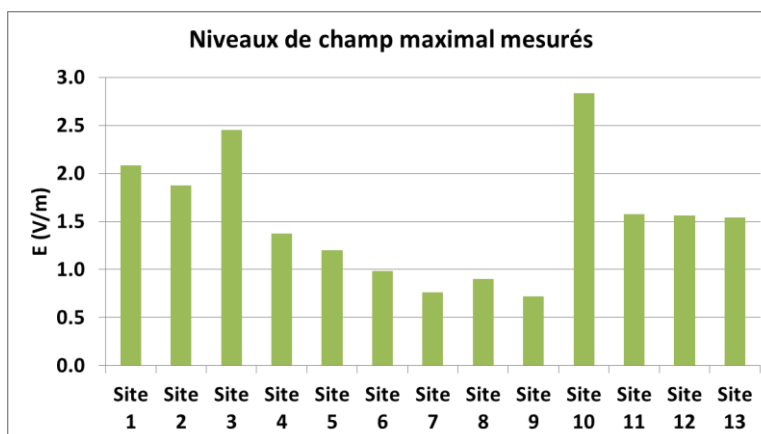


Figure 7 : niveaux maximaux mesurés à proximité des sites lorsque les petites antennes sont en marche

Ces niveaux, valables pour ces expérimentations à la date des mesures, apparaissent 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.

4.2. Exposition liée aux mobiles

Différents paramètres ont été enregistrés à l'aide de mobiles à trace sur des parcours couvrant la zone de l'expérimentation. Chaque parcours est réalisé 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 8).

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 lorsque le service voix 4G (*VoLTE*) était disponible.

L'exposition aux ondes générée par le mobile est fortement liée à la puissance d'émission du mobile mais aussi au débit (pour un usage données) qui influe en effet sur la durée d'émission du mobile. En effet, pour une même puissance d'émission, si le débit est multiplié par deux, la durée pour envoyer le fichier sera réduite d'un facteur deux et l'exposition, évaluée sur une durée de 6 minutes, sera réduite d'autant.

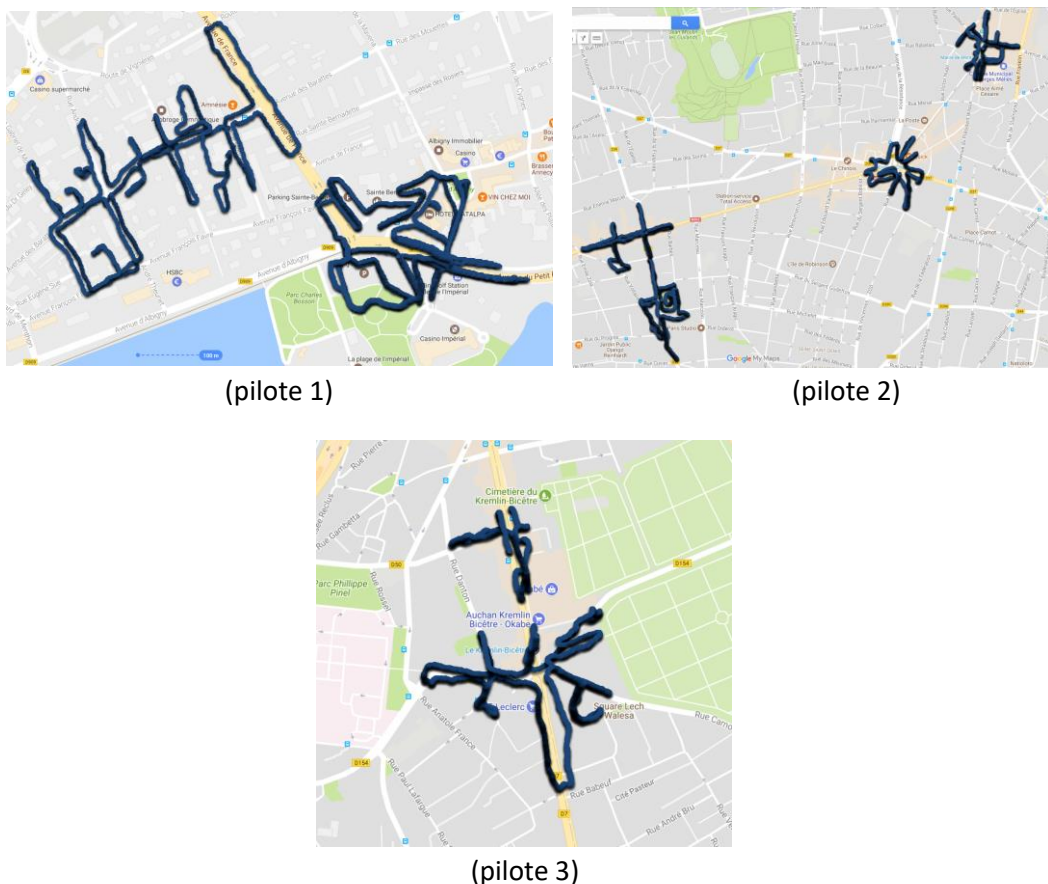


Figure 8 : parcours réalisés autour des sites avec le mobile à trace permettant d'enregistrer différents paramètres radio

Sur le pilote 1 (cf. Figure 9), le déploiement des petites antennes a permis de réduire significativement la puissance instantanée d'émission du mobile lors de l'envoi de fichiers, la valeur médiane apparaissant divisée par quatre. Les débits sont également globalement meilleurs lorsque l'envoi des fichiers passe par les petites antennes, avec un gain observé de 20 % sur le débit médian.

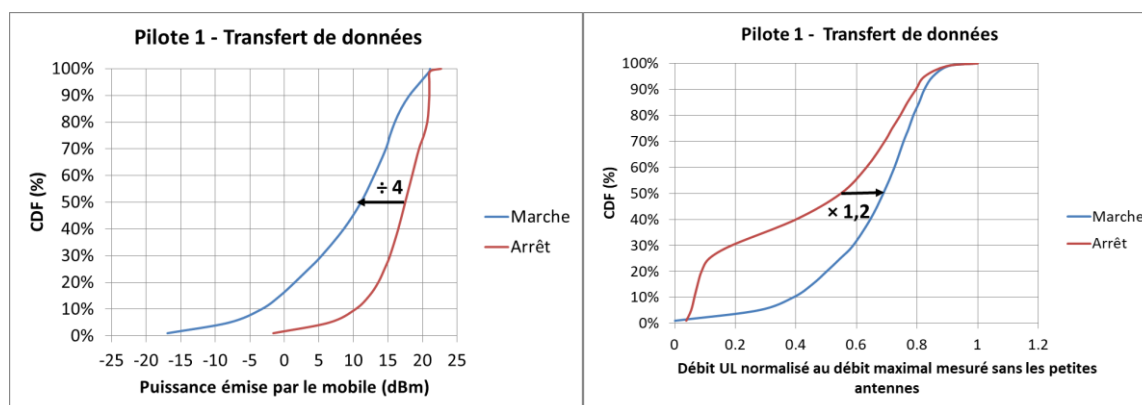


Figure 9 : distribution cumulative⁵ de la puissance émise par le mobile et du débit instantané enregistrés sur les parcours du pilote 1 avec les petites antennes en marche (courbes bleues) et éteintes (courbes rouge).

⁵ La figure de gauche se lit ainsi: lorsque les petites antennes sont en marche (courbe bleue), la puissance maximale (100%) mesurée est de 21 dBm et 50% des niveaux de puissance émise par le mobile sont inférieurs à 11 dBm

Sur les deux autres pilotes (cf. Figure 10 et Figure 11), il n'est pas apparu de gain significatif sur la puissance émise par le mobile lors de l'envoi de fichier. Mais, en revanche, un gain très important a été constaté sur les débits d'envoi, avec des augmentations sur les débits médians d'un facteur d'environ 3. Ce gain sur les débits se traduit par une durée d'émission réduite et donc un gain sur l'exposition, puisqu'elle dure moins longtemps.

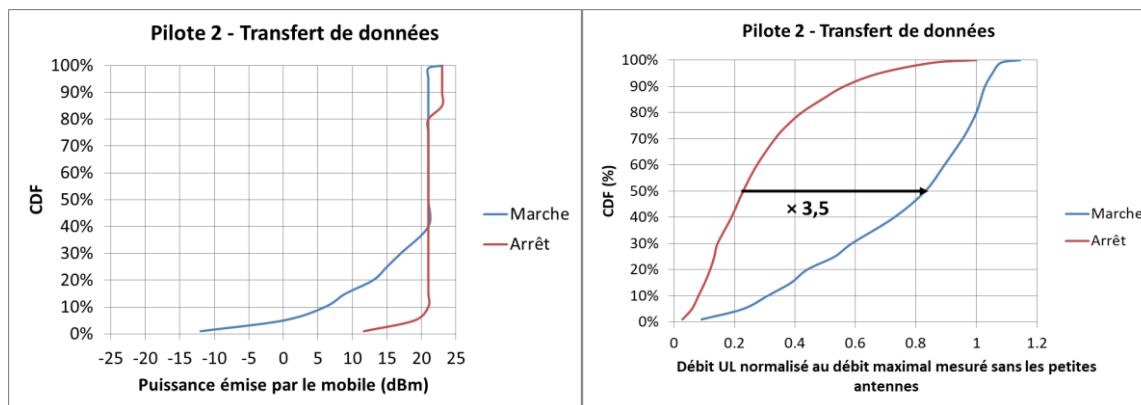


Figure 10 : distribution cumulative de la puissance émise par le mobile et du débit instantané enregistrés sur les parcours du pilote 2 avec les petites antennes en marche (courbes bleues) et éteintes (courbes rouges).

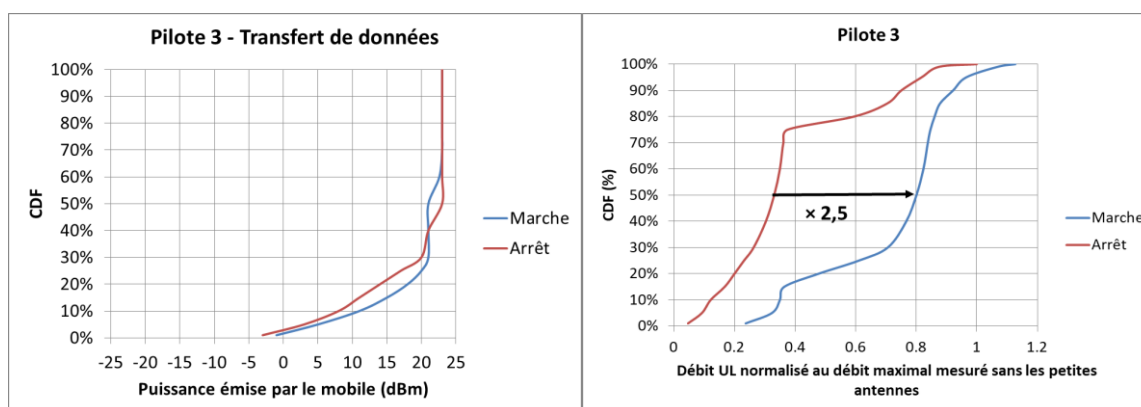


Figure 11 : distribution cumulative de la puissance émise par le mobile et du débit instantané enregistrés sur les parcours du pilote 3 avec les petites antennes en marche (courbes bleues) et éteintes (courbes rouges).

En fonction de la couverture initiale du réseau macro et des charges des réseaux, le déploiement des petites antennes permet ainsi

- soit de diminuer la puissance d'émission du mobile en gardant des débits comparables à ceux obtenus sur le réseau macro,
- soit d'augmenter le débit et donc de réduire la durée d'émission, en gardant des puissances d'émission comparables à celles obtenues sur le réseau macro.

Dans les deux cas, le bilan apparaît positif pour l'exposition réelle de l'utilisateur à son mobile. Cette exposition est plus faible (car moins intense ou moins durable) lorsque le mobile se connecte à une petite antenne que lorsqu'il se connecte au réseau macro actuel.

En complément, sur deux des pilotes, des mesures de débit montant (« *upload* ») et descendant (« *download* ») ont été réalisées en un point fixe à proximité immédiate des petites antennes. En ce

point, le débit disponible pour un utilisateur varie en fonction de la charge du réseau, les ressources de l'antenne étant partagées entre les différents utilisateurs. Ces mesures montrent (cf. Figure 12) que les petites antennes permettent d'obtenir de très bons débits dans le sens descendant, avec un débit de plus de 50 Mb/s dans environ 50 % des cas (contre un débit de 30 Mb/s⁶ en moyenne sur le réseau macro actuel) et dans le sens montant, avec un débit de plus de 20 Mb/s dans 75 % des cas (contre un débit de 11 Mb/s⁶ en moyenne sur le réseau macro actuel).

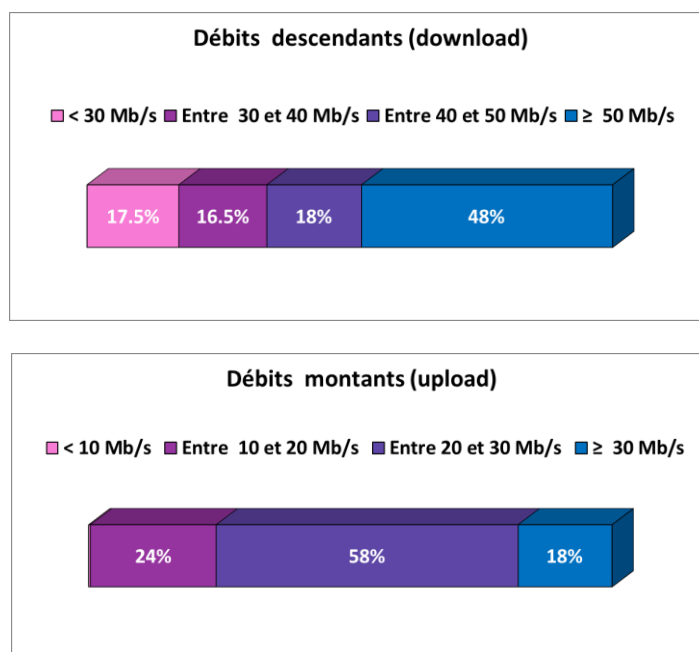


Figure 12 : répartition des débits mesurés en un point fixe à proximité immédiate des petites antennes en téléchargement « download » (figure du haut) et en téléchargement « upload » (figure du bas).

4.3. Lien entre l'exposition créée par la petite antenne et l'exposition au mobile

Le mobile à trace enregistre également le niveau de champ reçu de la station de base. Plus le niveau de champ reçu est élevé, meilleure est la couverture et plus le mobile réduit sa puissance d'émission. La Figure 13 illustre ce lien entre les niveaux instantanés de réception en abscisse et les niveaux instantanés d'émission en ordonnée lors d'envois de fichier sur le réseau (figures de gauche) ou lors d'appels voix (figures de droite) quand les petites antennes sont en service (figures du haut) ou éteintes (figures du bas) : les petites antennes permettent au mobile de mettre en œuvre toute une gamme de puissances réduites qui lui sont quasiment inaccessibles avec le seul réseau macro.

⁶ Enquête 2017 sur la qualité des services de données des opérateurs mobiles en zones d'habitation et sur les axes de transport en France métropolitaine (ARCEP)
https://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/observatoire/gsmobile/2017-06-21_Rapport_QoS_Data.pdf

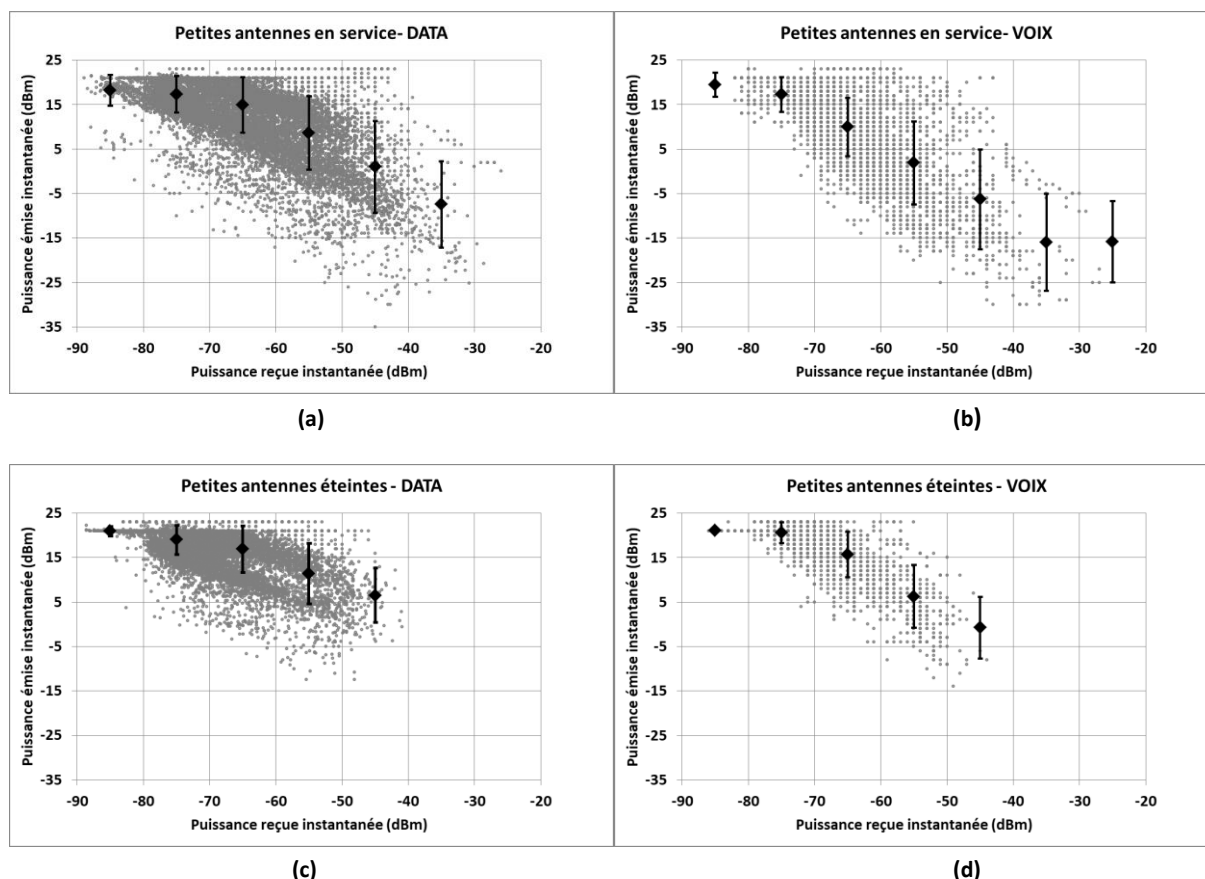


Figure 13 : lien entre la puissance émise instantanée par le mobile et la puissance instantanée reçue depuis le réseau par le mobile lors d'envoi de données lorsque les petites antennes sont en service (a) ou éteintes (c) et lors d'appels voix lorsque les petites antennes sont en service (b) ou éteintes (d). Les points gris sont l'ensemble des enregistrements, les losanges noirs sont les valeurs moyennes des puissances émises obtenues sur des intervalles de 10 dBm de puissances reçues et les traits noirs correspondent à l'intervalle d'un écart type qui matérialise la dispersion des valeurs de puissances émises autour de la valeur moyenne.

La Figure 14 montre que le mobile reçoit beaucoup mieux le réseau (57 % de cas où le niveau de réception est très élevé) lorsque la petite antenne est en marche que lorsqu'elle est éteinte (seulement 23 % de cas où le niveau de réception est très élevé). Il n'existe pas de standard normalisé pour catégoriser les niveaux de réception. Le nombre de barres affichées sur les mobiles dépend en effet des mobiles et des réseaux. Dans ce rapport, les choix suivants ont été faits en fonction de l'étalement des données recueillies sur les pilotes.

Niveaux de réception			
Très faible	Faible	Elevé	Très élevé
< -85 dBm	-85 dBm ≤ < -75 dBm	-75 dBm ≤ < -65 dBm	≥ -65 dBm

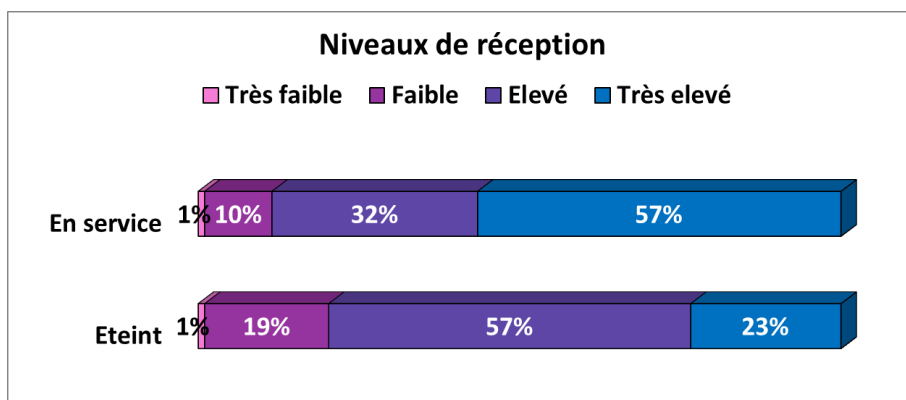


Figure 14 : niveaux de réception du réseau lorsque les petites antennes sont en marche ou arrêtées, obtenus sur les parcours dans les zones de 100 m autour des sites.

Enfin, ces données montrent que la puissance réellement émise par le mobile varie sur une large plage et que les petites antennes permettent de diminuer cette puissance dans la plupart des cas, que ce soit pour la voix ou pour la data. La Figure 15 montre dans quelles proportions la puissance instantanée réellement émise par le mobile lors d'une communication voix diminue par rapport à sa puissance maximale. Lorsque le mobile est connecté à la petite antenne, la puissance réelle instantanée en communication voix est divisée par un facteur de plus de 10 dans plus de 60 % des cas.

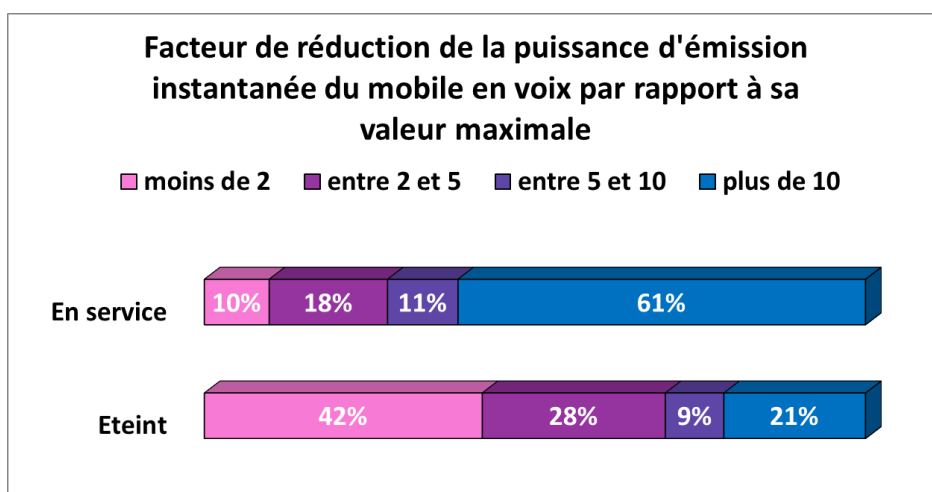


Figure 15 : facteurs de réduction de la puissance instantanée d'émission du mobile lors des communications voix par rapport à sa valeur maximale, obtenus sur les parcours dans les zones de 100 m autour des sites.

Dans le cas des communications de données, la Figure 16 montre que, dans plus de 30 % des cas, la puissance instantanée réelle émise par le mobile est réduite d'un facteur de plus de 10 par rapport à sa puissance maximale. En outre, la petite antenne permet de réduire la durée d'exposition lors de l'envoi des données grâce à des débits plus importants que sur le réseau macro actuel (cf. Figure 17).

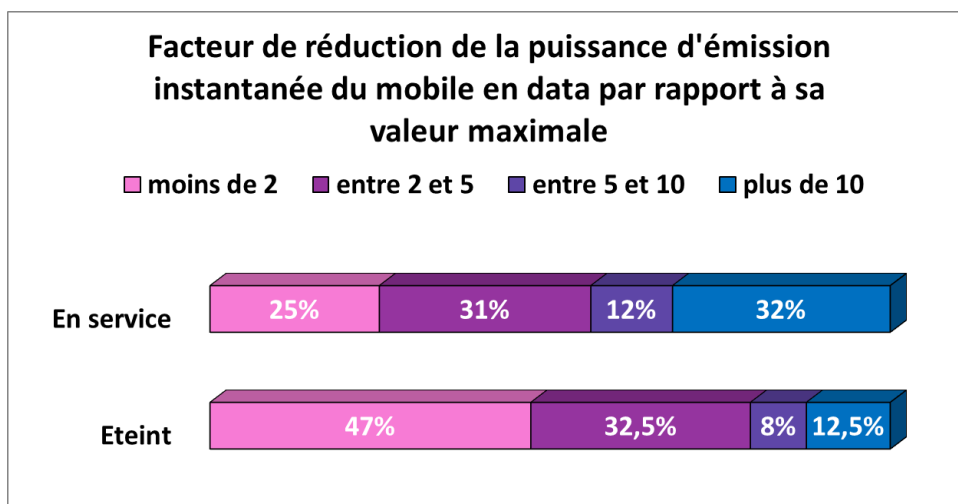


Figure 16: facteurs de réduction de la puissance instantanée d'émission du mobile lors de l'envoi de données par rapport à sa valeur maximale, obtenus sur les parcours dans les zones de 100 m autour des sites.

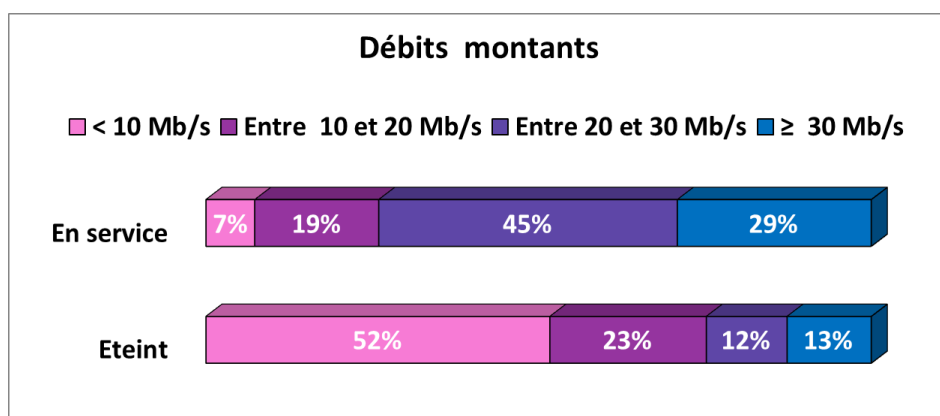


Figure 17 : débits montants mesurés lors de l'envoi de données obtenus sur les parcours dans les zones de 100 m autour des sites.