

**Diminution de l'exposition aux ondes
électromagnétiques émises par les antennes relais
de téléphonie mobile**

**RAPPORT DE SYNTHESE DES
EXPERIMENTATIONS DU COPIC**

31 juillet 2013

SYNTHESE DU VOLET EXPOSITION DU COPIC

Le cadre des expérimentations

A la suite de la **table-ronde sur les radiofréquences**, organisée par le ministère de la santé, avec le concours du ministère du développement durable et du secrétariat d'État chargé de la prospective et du développement de l'économie numérique, **un comité opérationnel (COMOP)** a été installé en **juillet 2009** et a travaillé sous la présidence du député François Brottes jusqu'en août 2011. Ce comité a pris le nom de **COPIC** en octobre 2011 et a poursuivi ses travaux jusqu'en **juillet 2013**, sous la présidence de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie et de l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR).

Associant une trentaine de parties prenantes nationales (associations, fabricants de matériels, opérateurs de téléphonie mobile, experts, associations d'élus locaux et services de l'État), ce comité avait notamment pour mission d'étudier la **faisabilité d'un abaissement de l'exposition aux ondes électromagnétiques émises par les antennes relais de téléphonie mobile** tout en maintenant la couverture et la qualité de service.

Durant quatre années il a mobilisé **un niveau d'expertise scientifique et technique conséquent**, ainsi que **seize communes pilotes** illustrant la **diversité des typologies d'environnement** :

Typologies	Rural relief faible	Rural zone montagneuse	Périurbain peu dense	Urbain moderne dense	Centre ville ancien dense	Haute densité
Villes	Couffoueux Grand-Champ	Kruth Lavelanet	Brest Métropole Océane Chassieu Thiers	Grenoble La Rochelle Saint-Denis de la Réunion	Cannes Paris 14 ^{ème} Paris 15 ^{ème} Plaine-Commune Saint-Mandé	Courbevoie

Le comité a cherché à éclairer les débats sur l'exposition aux ondes radio par des **résultats fiables, obtenus de façon rigoureuse et consensuelle**. Les résultats obtenus apportent de nombreux enseignements en matière d'exposition.

Les modélisations révèlent un niveau globalement faible de l'exposition du public aux ondes émises par les antennes relais

Un **état des lieux initial** a d'abord été réalisé, en 2010 ou 2011 selon les zones d'expérimentation, afin de servir de référence pour la suite des travaux. Il a consisté à **modéliser et à mesurer l'exposition, la couverture et la qualité de service**. Cet état des lieux inclut les réseaux 2G (deuxième génération de téléphonie mobile) et 3G (troisième génération) de Bouygues Télécom, Orange et SFR. Il n'inclut ni le réseau 3G de Free Mobile qui a été ouvert au public début 2012, ni les réseaux 4G (quatrième génération) qui ont été ouverts au public fin 2012.

Concernant l'exposition aux ondes émises par les antennes-relais, la modélisation a calculé un niveau d'exposition sur **plusieurs centaines de millions de points**, sur toutes les façades des bâtiments et toutes les surfaces au sol. L'exposition modélisée est une exposition théorique et maximisée qui fait l'hypothèse que tous les émetteurs fonctionnent en même temps à puissance maximale.

Cet état des lieux a montré que sur ces seize zones d'expérimentation, **environ 90% des niveaux d'exposition modélisés sont inférieurs à 0,7 V/m et 99% à 2,7 V/m** alors que les valeurs limites réglementaires sont comprises entre 40 V/m et 61 V/m pour les fréquences utilisées par la téléphonie mobile. Les principaux résultats sont synthétisés dans le tableau suivant :

	50% (médiane)	90%	99%	99.9%	100% (Max)	Nombre de points de calcul
Rural relief faible	0,03 V/m	0,2 V/m	0,5 V/m	0,8 V/m	5,1 V/m	135 671 318
Rural zone montagneuse	0,1 V/m	0,7 V/m	2,2 V/m	4,0 V/m	6,5 V/m	64 689 859
Périurbain peu dense	0,1 V/m	0,4 V/m	1,2 V/m	2,0 V/m	6,5 V/m	67 359 580
Urbain moderne dense	0,2 V/m	2,4 V/m	3,0 V/m	3,4 V/m	27,7 V/m	38 061 243
Centre ville ancien dense	0,2 V/m	1,0 V/m	2,3 V/m	4,0 V/m	30,5 V/m	17 128 230
Haute densité	0,2 V/m	1,0 V/m	2,4 V/m	4,3 V/m	15,4 V/m	3 972 820
Total	0,1 V/m	0,7 V/m	2,7 V/m	3,5 V/m	30,5 V/m	326 883 050

Le tableau se lit de la manière suivante : par exemple, 99% des niveaux d'exposition dans les villes correspondant à l'environnement « Périurbain peu dense » sont inférieurs à 1,2 V/m.

Les enseignements tirés des mesures de l'exposition

Dans chacune des seize zones d'expérimentation, différents types de mesures ont été effectués en une dizaine de points identifiés à partir des modélisations comme les plus exposés aux antennes-relais par rapport au reste de leur zone. Ces points géographiquement isolés, dits « Points Plus Exposés » (PPE), sont caractérisés par une **exposition sensiblement plus élevée que la moyenne de la zone**.

Les mesures effectuées sur les lieux les plus exposés ont montré que, dans environ 20% des cas, les antennes relais ne sont pas la source principale d'exposition. Les autres sources sont notamment : bases de téléphone sans fil DECT, émetteurs radio FM ou téléphones portables à proximité, boîtiers multiservices Wifi....

Par ailleurs, si les mesures au point le plus exposé de l'habitation sont deux à trois fois supérieures à l'exposition moyenne dans les autres pièces de cette même habitation, soulignant ainsi une **forte variabilité spatiale de l'exposition**, on constate **pour la téléphonie mobile une faible variation de l'exposition liée au trafic**. En effet, avec les technologies actuellement déployées et les usages actuels, le niveau réel mesuré dans la journée conformément à la méthodologie de cette étude, et ceci quelle que soit l'heure, est en général proche de celui que l'on constaterait en faisant des mesures en continu moyennées sur six minutes. L'amplitude des variations dans la journée est en général faible, inférieure à 30%.

Des possibilités de traitements des points localement plus exposés existent

Les travaux mettent en évidence des possibilités de traitement des PPE.

128 PPE ont été identifiés lors de l'état des lieux dont le niveau d'exposition varie entre des valeurs inférieures à 0,3 V/m et jusqu'à 10 V/m après extrapolation à puissance maximale des émetteurs. Parmi ces points, sept ont été sélectionnés, parce que les niveaux mesurés y étaient parmi les plus élevés, en vue de simuler des modifications d'ingénierie (tilt, azimuth, hauteur) ou d'emplacement, de nature à réduire leur exposition. Trois de ces PPE (un par opérateur) ont par la suite fait l'objet de mesures complémentaires et un d'entre eux a été effectivement traité. Les autres PPE n'ont pas été traités car leur niveau d'exposition ne justifiait pas une intervention de ce type.

Les simulations de **modifications d'ingénierie ou d'emplacement** montrent **qu'une réduction de l'exposition est possible sans dégradation significative de la couverture**. Il convient d'être particulièrement vigilant lors de ce type de traitements afin de ne pas entraîner une **redistribution de l'exposition trop importante sur d'autres points situés à proximité** du PPE.

Ces traitements constituent l'un des volets de la réduction de l'exposition, celle-ci pouvant être également abordée par le biais d'une réduction globale de la puissance des antennes.

Les conséquences sur la couverture et la qualité de service d'un abaissement global de l'exposition

Ainsi, des **simulations numériques visant à réduire l'exposition sur l'ensemble de la zone d'expérimentation ont été menées sur les réseaux 2G et 3G**.

Ces simulations réalisées à puissance maximale des émetteurs et confortées par des expérimentations terrain, ont montré qu'un abaissement de l'exposition en façade et au sol à **0,6 V/m**, s'accompagnerait d'une **forte détérioration de la couverture du réseau, en particulier à l'intérieur des bâtiments** (pertes en moyenne de 82 % de la couverture intérieure à Paris 14^{ème}, de 44 % à Grenoble et de 37 % à Grand-Champ) et donc de la qualité du service de téléphonie mobile.

Des **valeurs cibles d'exposition plus élevées** ont été testées (1V/m sur Paris 14^{ème} et 1,5 V/m sur Plaine Commune) faisant apparaître une **dégradation moindre de la couverture à l'intérieur des bâtiments** (pertes de 60 à 80% à Paris 14^{ème} et pertes de 30 à 40% à Plaine-Commune).

Une nécessaire augmentation du nombre d'antennes pour concilier faible exposition et couverture satisfaisante

Pour compléter ces résultats, des **simulations de reconfiguration du réseau d'antennes** ont été menées sur sept villes illustrant les différentes typologies observées en France. Elles ont consisté à évaluer le nombre de sites d'implantation d'antennes qu'il serait nécessaire d'ajouter afin de restaurer la couverture initiale tout en maintenant un niveau d'exposition inférieur à 0,6 V/m en façade et au sol. La conclusion est que **le nombre de sites devrait être multiplié par un facteur au minimum égal à trois**.

Les hypothèses sur lesquelles s'appuient les reconfigurations invitent à considérer le nombre d'antennes à ajouter comme un minimum puisque les calculs ne prennent pas en compte un certain nombre de paramètres (volume de communications, dégradation de la qualité de service, écoulement du trafic, accessibilité aux sites).

Le déploiement de la 4G (LTE) devrait s'accompagner d'une augmentation de l'exposition du public

Les réseaux de téléphonie mobile déployés étant 2G et 3G au début des études, la 4G a été prise en compte lors d'une dernière étape en 2012, en engageant des travaux de **simulation de l'impact du déploiement d'antennes 4G (LTE) théoriques sur l'exposition du public**.

Les simulations dans sept villes illustrant les différentes typologies ont permis de confirmer que l'ajout d'émetteurs 4G crée une augmentation de l'exposition. En effet, en considérant des émetteurs 4G théoriques avec des hypothèses de déploiement en principe majorantes, on obtiendrait sur l'ensemble de ces villes, une **augmentation moyenne de l'exposition en façade et au sol de 50 % environ**. A titre d'exemple, au sol sur la zone d'expérimentation de Paris 14^{ème}, l'exposition moyenne passerait de 0,6 V/m à 0,9 V/m environ.

SYNTHESE DU VOLET INFORMATION ET CONCERTATION DU COPIC

Le cadre des expérimentations

A la suite de la **table-ronde sur les radiofréquences**, organisée par le ministère de la santé, avec le concours du ministère du développement durable et du secrétariat d'État chargé de la prospective et du développement de l'économie numérique, **un comité opérationnel (COMOP)** a été installé en **juillet 2009** et a travaillé sous la présidence du député François Brottes jusqu'en août 2011. Ce comité a pris le nom de **COPIC** en octobre 2011 et a poursuivi ses travaux jusqu'en **juillet 2013**, sous la présidence de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) et de l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR).

Associant une trentaine de parties prenantes nationales (associations, fabricants de matériels, opérateurs de téléphonie mobile, experts, associations d'élus locaux et services de l'État), ce comité avait notamment pour mission d'étudier l'amélioration des procédures d'information et de concertation locales dans le cadre de l'implantation des antennes relais de téléphonie mobile.

Les expérimentations sur l'information et la concertation ont eu lieu dans neuf collectivités pilotes illustrant la diversité des typologies d'environnement : Amiens (Somme), Bayonne (Pyrénées Atlantiques), Boulton (Haute Saône), Bourges (Cher), La Bresse (Vosges), Lille Métropole Communauté Urbaine (Nord), Orléans (Loiret), Pessac (Gironde) et Tours/Tours Plus (Indre-et-Loire).

Les principaux outils expérimentés par les communes

Ces expérimentations se sont déroulées en deux phases. Dans un premier temps un groupe de travail rassemblant des élus locaux, des associations, des opérateurs de téléphonie mobile et des représentants de l'Etat et piloté par la Compagnie Nationale des Commissaires Enquêteurs (CNCE) a été chargé d'élaborer une boîte à outils à l'usage des maires ainsi qu'un dossier d'information rénové remis par l'opérateur au maire pour chaque projet de nouvelle antenne-relais.

Les principaux outils dont le test était soumis au choix des collectivités pilotes comprenaient des documents élaborés par l'Etat (plaquettes d'information générale, panneaux d'exposition), un cahier d'acteurs reprenant la position des autres parties prenantes sur le sujet, des sites internet communaux, des réunions publiques...

S'agissant de ces outils, les principaux enseignements sont les suivants :

- le cahier d'acteurs constitue un outil apprécié mais son usage est resté relativement limité ;
- les plaquettes d'information de l'Etat ont été jugées très utiles par les villes pilotes et nécessiteraient en cas de généralisation de leur diffusion à l'ensemble des villes la mise en place par l'Etat d'un circuit de distribution adapté ;

- le dossier fourni par les opérateurs constitue un outil central dont le contenu enrichi proposé par le groupe de travail est considéré comme indispensable à l'information des maires et du public. Cet outil répond à une double finalité : à la fois support d'instruction du projet pour les élus et les services techniques de la commune et vecteur d'information des riverains et des citoyens par les opérateurs ;
- les sites internet des mairies ont été largement utilisés mais restent difficiles d'accès pour les petites communes ;
- les réunions publiques n'ont été organisées que dans quelques villes. D'autres villes n'ont pas souhaité utiliser ce mode de concertation notamment en raison des moyens qu'il nécessite, de l'absence de représentants de l'Etat à certaines de ces réunions ou de l'agressivité de certains participants. Cet outil ne s'est pas avéré indispensable pour mener une concertation de qualité et nécessite de mettre en œuvre un socle de bonnes pratiques (diffusion d'information en amont...). Une majorité des membres du COPIC estime nécessaire la participation de représentants de l'Etat à ces réunions.

Evaluation et recommandations

Dans une seconde phase, le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie a confié l'animation et le suivi de ces expérimentations au Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD).

Ces expérimentations se sont achevées en décembre 2012 et le CGEDD a procédé à leur évaluation qui fait l'objet d'un rapport spécifique.

Ce rapport formule dix recommandations qui vont dans le sens d'une harmonisation des pratiques tout en laissant aux communes la souplesse nécessaire pour que les modalités d'information et de concertation puissent s'adapter aux moyens et aux contextes propres à chaque territoire :

Recommandation 1 : D'éventuelles futures dispositions législatives et/ou réglementaires concernant la concertation préalable aux opérations relatives aux antennes relais devraient permettre aux communes d'insérer cette concertation dans leur dispositif local propre de concertation. Il en va de même d'éventuelles dispositions contractuelles librement négociées entre partenaires concernés.

Recommandation 2 : Les éventuelles dispositions adoptées pour l'amélioration de la concertation devraient permettre une certaine uniformisation des pratiques et éviter de favoriser la mise en place de stratégies locales implicites de filtrage des projets reposant sur des valeurs de champs, ou la mise en place de zones d'exclusion d'antennes¹.

Recommandation 3 : Adopter dès à présent des mesures claires concernant l'information du public, et préconiser des dispositions prudentes concernant les modalités de participation du public, dans l'attente de l'adoption des ordonnances².

¹ Dans le respect des servitudes radioélectriques

² Ordonnance relative à la mise en œuvre du principe de participation du public défini à l'article 7 de la Charte de l'environnement

Recommandation 4 : Afin d'éviter la multiplication de chartes hétérogènes, les éventuelles mesures législatives, et la refonte du Guide des relations entre opérateurs et communes, devraient être conduites en offrant une variété d'options qui permettraient de s'adapter aux souhaits des collectivités territoriales, dans le respect du principe de libre administration des collectivités territoriales.

Recommandation 5 : Si un encadrement législatif et réglementaire de la concertation devait voir le jour, le contenu du dossier devrait être défini sur la base des dossiers rénovés et des éléments du rapport du député François Brottes. L'obligation pourrait dans un premier temps ne concerner que la fourniture du dossier, avec délai de garde par rapport à l'installation. Des accords contractuels éventuels devraient suivre les mêmes règles, notamment prévoir ou non la fourniture d'un avis sur le dossier d'information des maires (DIM) rénové sans que cela engage la commune.

Recommandation 6 : Les futures dispositions législatives éventuelles devront rendre l'information des occupants obligatoire préalablement à l'installation.

Recommandation 7 : En cas de dispositions législatives ou réglementaires futures :

- étudier les formes de concertation autres que la réunion publique, et à même de satisfaire la nécessité d'une concertation ;
- un document de bonnes pratiques de la réunion publique serait un outil utile aux communes ;
- la présence de l'Etat, pour souhaitable qu'elle puisse paraître, devrait ne pas être rendue obligatoire ;
- la nécessité juridique d'une participation du public, au processus des décisions ayant une incidence directe et significative sur l'environnement, devra être étudiée vis-à-vis de l'implantation des antennes relais.

Recommandation 8 : Favoriser la réalisation d'un guide tripartite communes-opérateurs-associations sur les structures de concertation communales, intégrant le besoin particulier des petites communes et le promouvoir auprès des communes via les préfetures.

Recommandation 9 : Exploiter les résultats de l'enquête auprès de toutes les préfetures pour analyser les raisons du peu de résultats des instances de concertation départementales (ICD), puis relancer les ICD en tirant les enseignements de l'enquête.

Recommandation 10 : Arrêter la terminologie à employer, définir dans le DIM les cas où une simulation simple est demandée, et ceux où une simulation plus élaborée est requise, et mettre à profit les compétences du réseau scientifique du MEDDE pour faire progresser la connaissance sur la présentation des simulations.

Une étude d'impact portant sur les coûts et les moyens à mettre en œuvre pour les différents acteurs (Etat, communes, opérateurs, associations) en vue de satisfaire ces recommandations permettrait d'apprécier de façon plus complète leur faisabilité.

SOMMAIRE

1 CADRE DES TRAVAUX	20
1.1 Notions sur les réseaux mobiles et les ondes radio	20
1.1.1 Rayonnement électromagnétique	20
1.1.2 Ondes radiofréquences et téléphonie mobile	21
1.1.3 Antennes relais et réseaux	22
1.1.4 Seuils réglementaires	23
1.2 Les suites de la table ronde « radiofréquence, santé, environnement »	24
1.3 Méthode de travail	26
1.4 Choix et caractéristiques des villes pilotes/zones d'étude	28
2 L'ETAT DES LIEUX : EXPOSITION, COUVERTURE ET QUALITE DE SERVICE	32
2.1 Cadre de l'étude : méthodologie, protocole, incertitudes	32
2.1.1 Modélisations	32
2.1.2 Mesures	35
2.1.3 Incertitudes	36
2.1.4 Zones d'études	37
2.2 Modélisations de l'exposition	38
2.2.1 Objectifs	38
2.2.2 Résultats	39
2.2.2.1 Exposition au niveau du sol	39
2.2.2.2 Exposition en façade	41
2.2.3 Conclusions	45
2.3 Mesures de l'exposition	47
2.3.1 Objectifs	47
2.3.2 Appareils de mesure	47
2.3.3 Résultats	48
2.3.3.1 Points les Plus Exposés (PPE)	48
2.3.3.2 Mesures géoréférencées	51
2.3.3.3 Variations temporelles	52
2.3.3.4 Mesures dans différentes pièces avec l'exposimètre	53
2.3.3.5 Exposimétrie individuelle	53

2.3.4 Comparaison avec les modélisations	55
2.3.5 Conclusions	57
2.4 Modélisation de la couverture	58
2.4.1 Objectifs	58
2.4.2 Conclusions	58
2.5 Mesures de la qualité de service	59
2.5.1 Objectifs	59
2.5.2 Conclusions	60
2.6 Conclusions générales de l'état des lieux	60
3 TRAITEMENT DES POINTS LES PLUS EXPOSES	62
3.1 Cadre de l'étude : contexte et méthode de travail	62
3.2 Résultats issus des simulations	63
3.3 Résultats issus des expérimentations	65
3.3.1 Traitement du PPE de l'antenne Orange	66
3.3.2 Mesures avant modification	66
3.3.3 Modification envisagée et modélisation de l'exposition après la modification	67
3.3.4 Mesures après modification	67
3.3.5 Conclusion pour ce PPE	69
3.4 Conclusions	69
4 SIMULATIONS ET EXPERIMENTATIONS TERRAIN D'ABAISSMENT DE PUISSANCE DES ANTENNES RELAIS, SIMULATIONS DE RECONFIGURATION	71
4.1 Cadre de l'étude : méthodologie, protocoles, incertitudes	71
4.1.1 Simulation de diminution de puissance des antennes relais	71
4.1.2 Expérimentation terrain de diminution de puissance des antennes relais	72
4.1.3 Simulation de reconfiguration des réseaux	73
4.2 Simulations d'abaissement de puissance des antennes relais	74
4.2.1 Résultats	74
4.2.1.1 Exemple du traitement de Paris 14 ^{ème}	74
4.2.1.2 Synthèse des résultats des différentes villes pour la valeur de 0,6 V/m	75
4.2.1.3 Influence de la dégradation de couverture aux seuils d'abaissement	76
4.3 Expérimentations terrain d'abaissement de puissance	76
4.3.1 Résultats	76

4.3.2 Comparaison avec les modélisations	79
4.3.3 Conclusions	81
4.4 Simulations de reconfiguration des réseaux	82
4.4.1 Résultats	83
4.4.1.1 Exemple du traitement de Paris 14 ^{ème}	83
4.4.1.2 Synthèse des résultats des différentes villes	88
4.4.2 Conclusion	90
5 SIMULATION DE L'IMPACT SUR L'EXPOSITION DE L'AJOUT D'ANTENNES 4G (LTE) THEORIQUES	91
5.1 Méthodologie suivie pour la prise en compte des réseaux 4G (LTE)	91
5.2 Résultats	92
5.3 Conclusion	95
ANNEXE A : RECOMMANDATIONS DU RAPPORT DE LA 1ERE PHASE PAR FRANÇOIS BROTTES	96
ANNEXE B : GLOSSAIRE	98
ANNEXE C : RESULTATS SYNTHETIQUES DES EXPERIMENTATIONS VILLE PAR VILLE	103
COURBEVOIE	103
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	103
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	104
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	105
Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)	106
GRENOBLE	107
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	107
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	108
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	109
Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)	110
PARIS 14^{EME}	111
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	111
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	112
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	113

Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)	114
GRAND-CHAMP	115
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	115
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	116
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	117
Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)	118
KRUTH	119
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	119
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	120
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	120
THIERS	121
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	121
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	122
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	123
Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)	124
BREST	125
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	125
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	126
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	126
CANNES	127
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	127
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	128
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	128
COUFOULEUX	129
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	129
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	130
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	131
LA ROCHELLE	132

Modélisation de l'exposition (sol et façade)	132
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	133
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	133
CHASSIEU	134
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	134
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	135
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	135
PARIS 15^{EME}	136
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	136
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	137
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	137
LAVELANET	138
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	138
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	139
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	140
Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)	141
PLAINE COMMUNE	142
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	142
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	143
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	144
Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)	145
SAINT DENIS DE LA REUNION	146
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	146
Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)	147
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture	147
SAINT-MANDE	148
Modélisation de l'exposition (sol et façade)	148

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)
149

Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture 149

ANNEXE D : TABLEAUX DES RESULTATS DETAILLES DE L'ETAT DES LIEUX150

TABLEAUX SYNTHETIQUES DE L'EXPOSITION EN FAÇADE ET AU SOL (MEDIANE – MOYENNE – MAXIMUM) : COUFOULEUX, GRAND CHAMP, KRUTH, LAVELANET, BREST, CHASSIEU, THIERS, GRENOBLE, LA ROCHELLE, ST DENIS DE LA REUNION 151

TABLEAUX SYNTHETIQUES DE L'EXPOSITION EN FAÇADE ET AU SOL (MEDIANE – MOYENNE – MAXIMUM) : CANNES, PARIS 14^{EME}, PARIS 15^{EME}, PLAINE COMMUNE, ST MANDE, COURBEVOIE 152

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION SOL : COUFOULEUX, GRAND CHAMP, KRUTH, LAVELANET 153

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION SOL : BREST, CHASSIEU, THIERS, GRENOBLE, LA ROCHELLE, ST DENIS DE LA REUNION 154

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION SOL : CANNES, PARIS 14^{EME}, PARIS 15^{EME}, PLAINE COMMUNE, ST MANDE, COURBEVOIE 155

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION EN FAÇADE : COUFOULEUX, GRAND CHAMP, KRUTH, LAVELANET 156

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION EN FAÇADE : BREST, CHASSIEU, THIERS, GRENOBLE, LA ROCHELLE, ST DENIS DE LA REUNION 157

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION EN FAÇADE : CANNES, PARIS 14^{EME}, PARIS 15^{EME}, PLAINE COMMUNE, ST MANDE, COURBEVOIE 158

TABLEAUX DE DONNEES RELATIVES AUX SURFACES ET AUX BATIMENTS159

ANNEXE E : ETAT D'AVANCEMENT DES EXPERIMENTATIONS DU COPIC160

ANNEXE F : RESULTATS DE L'ETAT DES LIEUX POUR LA COUVERTURE 163

ANNEXE G : RESULTATS DE L'ETAT DES LIEUX POUR LA QUALITE DE SERVICE 170

ANNEXE H : EXEMPLES DE DEPASSEMENT PONCTUELS DU SEUIL DE 0,6 V/M LORS DES SIMULATIONS DE RECONFIGURATION DU RESEAU D'ANTENNES RELAIS. 173

ANNEXE I : POSITIONS DIVERGENTES DE CERTAINS MEMBRES DU COPIC175

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : propagation d'une onde électromagnétique	20
Figure 2 : les différents domaines des ondes électromagnétiques.....	21
Figure 3 : visualisation en 3D du faisceau principal d'émission d'une antenne relais	22
Figure 4 : valeurs limites d'exposition aux radiofréquences – décret n°2002-775 du 3 mai 2002	24
Figure 5 : carte des collectivités pilotes ayant participé aux expérimentations du COMOP puis du COPIC (concertation en bleu, exposition en rouge)	28
Figure 6 : tableau récapitulatif des collectivités pilotes ayant participé aux travaux sur l'exposition.....	29
Figure 7 : tableau récapitulatif des expérimentations prévues (cases colorées en bleu) dans chaque collectivité	30
Figure 8 : données relatives aux zones d'expérimentation.....	31
Figure 9 : représentation de l'atténuation de l'exposition par une paroi en verre et un mur plein.....	34
Figure 10 : représentation des différentes zones d'études.....	38
Figure 11: cartographie des niveaux d'exposition à 1,5m du sol - St Denis de la Réunion	39
Figure 12 : répartition des niveaux d'exposition à 1,5m du sol – St Denis de la Réunion	40
Figure 13: synthèse par type d'environnement des niveaux d'exposition modélisés au sol.....	40
Figure 14 : synthèse par type d'environnement des niveaux d'exposition maximum modélisés	41
Figure 15 : cartographie des niveaux d'exposition modélisés en façade – St Denis de la Réunion	41
Figure 16 : répartition des niveaux d'exposition modélisés en façade – St Denis de la Réunion	41
Figure 17 : synthèse par type d'environnement de l'exposition modélisée en façade	42
Figure 18 : synthèse par type d'environnement des niveaux d'exposition modélisés en façade maximum	43
Figure 19 : synthèse par type d'environnement des expositions moyennes modélisées au sol et en façade.....	44
Figure 20 : répartition des émetteurs en fonction de l'exposition qu'ils induisent – St Denis de la Réunion	44
Figure 21 : pourcentages d'émetteurs générant au moins un point en façade pour lequel le niveau d'exposition modélisé est supérieur à 0,6 V/m	45
Figure 22 : synthèse statistique par type d'environnement des niveaux d'exposition modélisés	47
Figure 23 : champmètre (à gauche) et analyseur de spectre (à droite).....	48
Figure 24 : exposimètre	48
Figure 25 : distribution statistique des mesures selon le type d'environnement.....	50

Figure 26 : situation PPE 3 - Cannes	50
Figure 27 : antenne sur le mur en face de la terrasse PPE 3 - Cannes	51
Figure 28 : dispositif d'enregistrement des mesures géoréférencées (support non métallique)	51
Figure 29 : mesures en roulant - Thiers	52
Figure 30 : mesures de la variation temporelle sur 24h – PPE 7 - Cannes	53
Figure 31 : histogramme des mesures d'exposimétrie individuelle sur 1 semaine (antennes relais).....	54
Figure 32 : histogramme des mesures d'exposimétrie individuelle sur 1 semaine (autres sources).....	54
Figure 33 : mesures d'exposimétrie individuelle mettant en évidence les variations spatiales	54
Figure 34 : exemple de situation où la complexité du bâti est difficile à modéliser.....	56
Figure 35 : exemple de cartes permettant d'identifier les ZPE et les PPE	62
Figure 36 : répartition du nombre de PPE en fonction de leur niveau d'exposition.....	63
Figure 37 : propositions de traitements sur plusieurs PPE - Courbevoie	64
Figure 38 : analyse avantage/inconvénient de différentes possibilités de traitement d'un PPE - Courbevoie	65
Figure 39 : présentation de l'emplacement du site avant modification - 121 rue d'Alésia Paris 14 ^{ème}	66
Figure 40 : principales modifications réalisées sur l'antenne – Paris 14 ^{ème}	67
Figure 41 : impact du traitement du PPE sur l'exposition des différents points de mesure – Paris 14 ^{ème}	68
Figure 42 : impact du traitement du PPE sur la répartition spatiale de l'exposition – Paris 14 ^{ème}	68
Figure 43 : synthèse des résultats de mesures avant/après	69
Figure 44 : résultats simulés en termes d'impact sur la couverture 2G d'un abaissement de puissance à 0,6 V/m – Paris 14 ^{ème}	74
Figure 45 : résultats simulés en termes d'impact sur la couverture 2G d'un abaissement de puissance à 1 V/m – Paris 14 ^{ème}	75
Figure 46 : localisation des antennes sur la zone d'expérimentation	77
Figure 47 : mesures de couverture avant et après baisse de puissance (mesures en roulant) – Paris 14 ^{ème}	77
Figure 48 : cartographie des points de mesure en intérieur (26 mesures en rez-de-chaussée)	78
Figure 49 : exemple mesures de couverture en intérieur avant et après baisse de puissance .	78
Figure 50 : corrélation simulation/mesure couverture	79
Figure 51 : comparaison modélisation/mesures avant réduction de puissance après 1 ^{er} mur .	80
Figure 52 : nombre d'antennes à ajouter après reconfiguration - Paris 14 ^{ème}	84
Figure 53 : nombre de sites à ajouter après reconfiguration - Paris 14 ^{ème}	84
Figure 54 : cartographie des sites à ajouter pour SFR (rouge : site 2G – jaune : sites 3G – vert : sites 2G et 3G colocalisés) – Paris 14 ^{ème}	85

Figure 55 : reconstitution des réseaux 2G et 3G BYT – Paris 14 ^{ème}	86
Figure 56 : cartographie de l'exposition au sol avant et après reconfiguration – Paris 14 ^{ème} ...	87
Figure 57 : distribution de l'exposition en façade avant et après reconfiguration – Paris 14 ^{ème}	87
Figure 58 : nombre d'antennes à ajouter par ville - reconfigurations à 0,6 V/m.....	89
Figure 59 : nombre de sites à ajouter - reconfigurations à 0,6 V/m	89
Figure 60 : répartition de l'exposition au sol et en façade avant et après l'ajout d'antennes 4G (LTE)- Plaine Commune.....	93
Figure 61 : résultats statistiques par ville de l'évolution de l'exposition en façade	94
Figure 62 : résultats statistiques par ville de l'évolution de l'exposition en façade	94

1 CADRE DES TRAVAUX

1.1 Notions sur les réseaux mobiles et les ondes radio

Ce chapitre présente de façon synthétique et pédagogique quelques notions générales sur les ondes électromagnétiques et les réseaux de téléphonie mobile. Ces notions sont importantes pour la bonne compréhension des travaux techniques et des résultats qui sont présentés dans ce rapport.

1.1.1 Rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est une propagation d'énergie. Ce rayonnement peut être décrit sous forme ondulatoire ou sous forme particulaire. La lumière est un exemple de rayonnement électromagnétique. La propagation d'une onde peut par exemple être visualisée à la surface d'un lac dans lequel on jette un caillou. Le niveau de l'eau en un point donné monte et descend un certain nombre de fois par seconde. Ce nombre est la fréquence de l'onde, dont l'unité est le Hertz noté Hz.

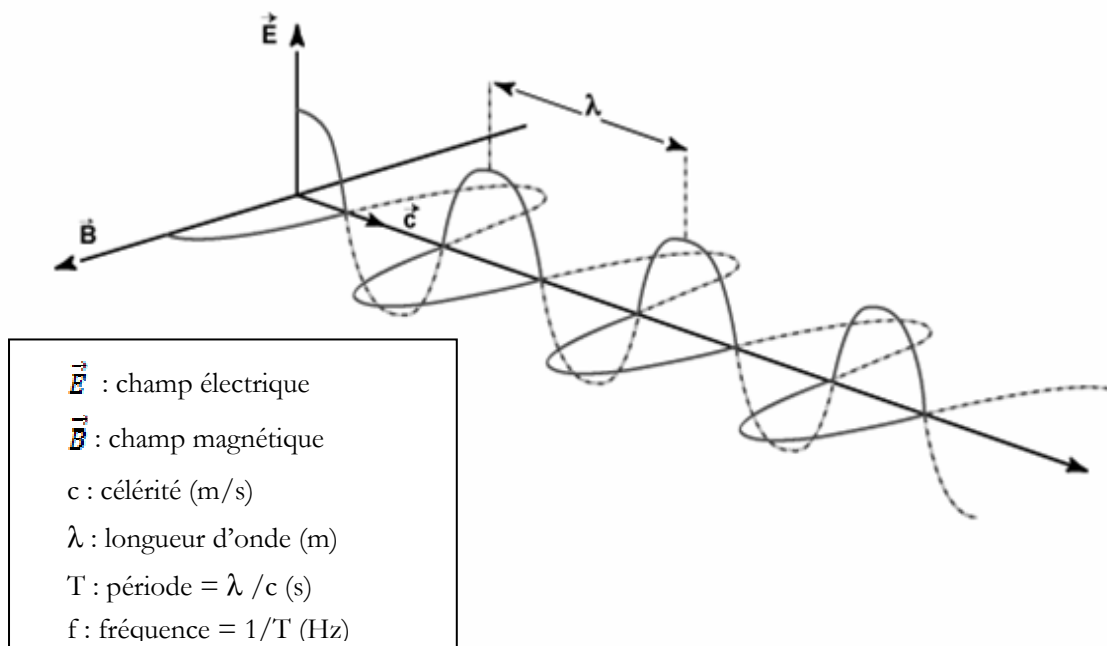


Figure 1 : propagation d'une onde électromagnétique

Le terme «rayonnement électromagnétique» se réfère au mode selon lequel l'énergie est transportée par le champ électrique (E) et le champ magnétique (B) qui varient en ondes formées dans des plans perpendiculaires entre eux ainsi qu'à la direction de propagation.

Le champ électrique est exprimé en Volt par mètre (ce qui représente une tension de 1V entre deux plaques séparées d'une distance de 1 m). Le champ magnétique s'exprime, quant à lui, en Tesla ou en Ampères par mètre.

Ces deux ondes se propagent à la vitesse de la lumière (c) dans le vide, c'est-à-dire à environ 300 000 000 m/s.

1.1.2 Ondes radiofréquences et téléphonie mobile

Différentes catégories d'ondes électromagnétiques sont distinguées en fonction des fréquences. Chaque catégorie d'ondes possède des propriétés, des usages et un mode d'interaction avec la matière qui lui sont spécifiques.

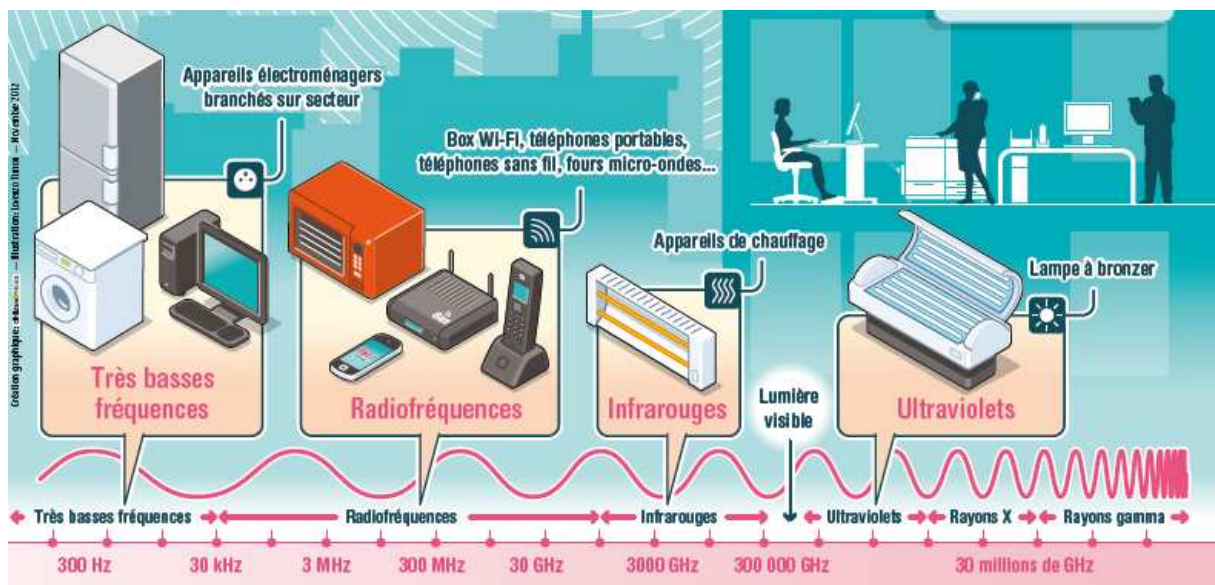


Figure 2 : les différents domaines des ondes électromagnétiques

Le domaine des ondes radiofréquences s'étend de 9 kHz (9000 Hz) à 3000 GHz (3 000 000 000 000 Hz) mais l'essentiel des usages se concentrent entre 100 kHz et 6 GHz. Les radiofréquences sont des rayonnements non ionisants: elles ne dégagent pas suffisamment d'énergie pour ajouter ou retirer des charges électriques à des atomes ou à des molécules dans la matière qu'elles traversent.

Historiquement la bande des radiofréquences a été utilisée pour la radiodiffusion, la télédiffusion, les réseaux de communications propres aux services publics (police,

gendarmerie, pompiers, samu...) et à des entreprises (taxis, EDF, SNCF...). A la fin du XX^{ème} siècle, ces fréquences ont servi au développement de la téléphonie mobile. Actuellement de nombreuses applications utilisent également cette partie du spectre électromagnétique : RFID, Wi-Fi....

Il existe bien entendu des équipements et appareils qui produisent des ondes radiofréquences dans d'autres domaines que les communications sans fil : appareils domestiques, appareils médicaux, équipements industriels...

Les radiocommunications, incluant la téléphonie mobile, utilisent les ondes électromagnétiques de la manière suivante : les informations sont transportées sous forme de modulation, par modification des caractéristiques des ondes, telles que leur amplitude ou leur fréquence. Le signal occupe alors un canal caractérisé par une bande de fréquence. Plus la bande de fréquences utilisée par un service est large, plus la quantité d'informations susceptible d'être transmise par ce service est grande (ex : capacité et débit pour l'internet mobile).

1.1.3 Antennes relais et réseaux

Dans le domaine des communications radio ou sans fil, les ondes radiofréquences sont émises à partir d'une antenne dont la finalité est de permettre une mise en relation entre le réseau et l'utilisateur. On peut comparer l'antenne en émission à une ampoule électrique nue qui rayonnerait l'énergie que lui communique le courant qui la traverse. Il existe plusieurs types d'antennes qui se différencient notamment par leur gain (leur faculté de diriger l'onde dans une direction comme un phare de voiture), leur hauteur, leur direction (azimut) et leur inclinaison par rapport à la verticale (tilt).

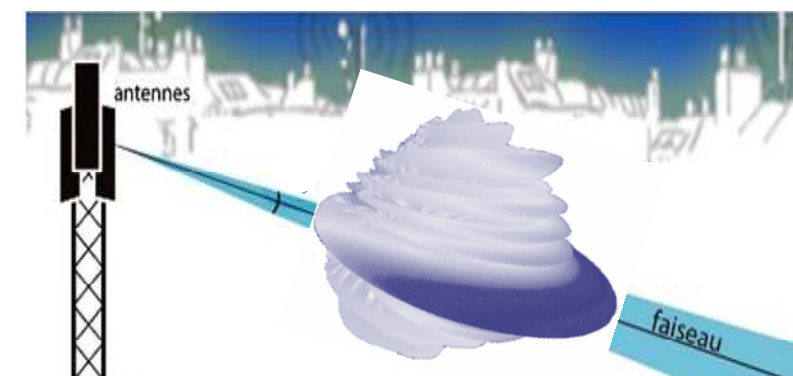


Figure 3 : visualisation en 3D du faisceau principal d'émission d'une antenne relais

En téléphonie mobile, les stations des réseaux de communication ainsi que les équipements terminaux (téléphones mobiles, tablettes, clés internet pour ordinateur...) sont des émetteurs-récepteurs.

Un réseau de téléphonie mobile a pour objectif de permettre à ses utilisateurs de communiquer, en statique et en mobilité, de la voix et des données (Internet, e-mail, téléchargement...) en tout lieu (domicile, travail, rue, transports...) avec une qualité de service satisfaisante.

Ce réseau se compose d'un ensemble de cellules de tailles différentes et de technologies différentes (2G, 3G, 4G), qui assurent la couverture d'une zone géographique.

A chaque cellule est associée une antenne relais qui peut avoir des antennes dans chacune des technologies et qui émet, le plus souvent, dans trois directions ou azimuts.

L'équipement terminal de chaque utilisateur est capable de distinguer et démoduler les émissions qui lui sont destinées et d'émettre en retour, vers l'antenne de son opérateur qui couvre la cellule dans laquelle il se trouve. Ce fonctionnement dans les deux sens nécessite que le signal émis par l'antenne ait un niveau et une qualité suffisante pour assurer la qualité de service requise.

L'opérateur définit la taille de chaque cellule en fonction de la densité du trafic à y écouler et de l'existence ou non d'obstacles (relief, bâtiments...) à la propagation des ondes radio. La taille de chaque cellule doit permettre une liaison radio équilibrée dans les deux sens, c'est-à-dire la bonne qualité des émissions de l'antenne relais vers le téléphone mobile, mais également la bonne qualité des émissions du téléphone mobile vers l'antenne relais.

L'opérateur répartit les fréquences qui lui ont été allouées et règle les puissances sur l'ensemble des cellules de son réseau, de façon à éviter de brouiller les émissions de ses autres émetteurs utilisant les mêmes fréquences.

L'intensité du champ électromagnétique des ondes radio décroît en fonction de la distance parcourue et des matériaux traversés (bâtiments).

La même puissance d'émission sera ainsi utilisée en zone rurale pour couvrir plusieurs kilomètres avec peu d'utilisateurs et peu d'obstacles et en zone urbaine pour couvrir quelques centaines de mètres avec beaucoup d'utilisateurs et de nombreux murs de bâtiments à traverser.

En outre, un système de régulation de puissance, aussi bien de la puissance d'émission des antennes relais que de celle des téléphones mobiles, réalise un ajustement en permanence de l'ensemble au niveau le plus bas compatible avec la qualité du service nécessaire et des communications.

1.1.4 Seuils réglementaires

Les valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques, basées sur la recommandation du Conseil de l'Union européenne 1999/519/CE sont reprises par la réglementation française dans le décret n°2002-775 du 3 mai 2002. Pour les fréquences utilisées par la téléphonie mobile, les valeurs limites réglementaires sont comprises entre 40 V/m et 61 V/m.

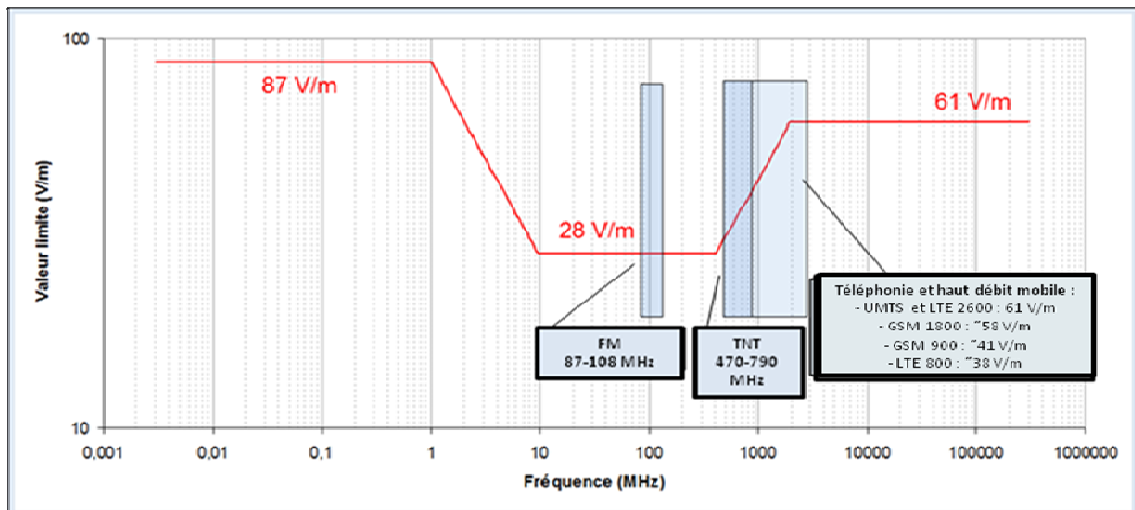


Figure 4 : valeurs limites d'exposition aux radiofréquences – décret n°2002-775 du 3 mai 2002

1.2 Les suites de la table ronde « radiofréquence, santé, environnement »

Une table-ronde sur les radiofréquences, organisée par le ministère de la santé, avec le concours du ministère du développement durable et du secrétariat d'Etat chargé de la prospective et du développement de l'économie numérique, s'est réunie au cours du mois de mai 2009.

Elle a rassemblé les associations, les opérateurs de téléphonie mobile, les fabricants de matériels, des experts, des associations d'élus locaux et les services de l'Etat.

A l'issue de cette table ronde le Gouvernement a défini, au travers de dix grandes orientations, la feuille de route des différents acteurs, afin d'améliorer l'information, la concertation, la recherche et, le cas échéant, l'attitude de précaution et la réglementation, notamment en matière d'exposition aux radiofréquences.

Pour la mise en œuvre opérationnelle de ces orientations, plusieurs groupes de travail ont été constitués.

Un comité opérationnel (COMOP) a notamment été installé le 7 juillet 2009 afin d'explorer deux volets :

- d'une part la faisabilité technique d'un abaissement de l'exposition aux radiofréquences émises par les antennes relais de la téléphonie mobile au moyen de la réalisation de modélisations des niveaux d'exposition dans plusieurs quartiers et, le cas échéant, d'expérimentations des conséquences d'une diminution de cette exposition, afin d'en évaluer l'impact sur la couverture réseau, la qualité du service rendu aux utilisateurs, le nombre d'antennes et l'exposition des utilisateurs de téléphonie mobile. Ce volet fait l'objet du présent rapport ;

- d'autre part, la définition et l'expérimentation de nouvelles procédures de concertation et d'information locales pour accompagner les projets d'implantation d'antennes relais. Ce volet fait l'objet d'un rapport spécifique publié par le Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD).

Ce travail s'est réalisé dans un cadre de gouvernance original rassemblant une trentaine de parties prenantes nationales, marqué par le souci d'avancer collectivement à partir de résultats fiables, obtenus de façon rigoureuse et consensuelle. Ont ainsi participé à ces travaux :

- Pour le collège Etat : le Ministère chargé de l'Ecologie (DGPR), le Ministère chargé de la Santé (DGS), le Ministère chargé de l'Economie numérique (DGCIS), le Ministère chargé du travail (DGT), l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR), l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP), l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (ANSES), l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE) de Lyon, Supélec ;
- Pour les élus locaux : l'Association des Maires de France (AMF), l'Association des Maires des Grandes Villes de France (AMGVF), l'Association des Villes et Collectivités pour les Communications Electroniques et l'Audiovisuel (AVICCA) ;
- Pour les associations : l'Association Française des Utilisateurs de Télécommunications (AFUTT), l'association Consommation, Logement et Cadre de Vie (CLCV), le Centre de Recherche et d'Information Indépendant sur les Rayonnements Electromagnétiques (CRIIREM), France Nature Environnement (FNE), Priartem et, de juillet 2009 à janvier 2013, Robin des Toits ;
- Pour les entreprises : Bouygues Telecom, Orange, SFR, Free Mobile, la Fédération Française des Télécoms, le GITEP TICS représentant les fabricants de terminaux et d'équipements.

Le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE) a apporté un soutien administratif et financier à ces études en y consacrant une enveloppe budgétaire d'environ 1,3 M€ sur 4 ans.

Les travaux ont été pilotés par l'ANFR dans le cadre d'un groupe technique.

L'ensemble de ces éléments traduit l'importance de l'effort qui a été consenti par l'Etat et par les autres parties prenantes pour mener à bien ces travaux techniques.

Initialement présidé par François Brottes, député de la 5ème circonscription de l'Isère et maire de Crolles, les travaux du COMOP se sont poursuivis à partir du 30 août 2011 sous la co-présidence de l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR) et la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de l'écologie suite à la remise par François Brottes d'un rapport d'étape au Gouvernement rendant compte des principaux résultats issus

de la première phase de travail et formulant des recommandations (cf annexe A) quant à la suite des études à mener. Depuis cette date le COMOP a été rebaptisé COPIC : Comité de pilotage issu du COMOP.

Le COPIC comme le COMOP n'a ni motivation sanitaire, ni vocation à tirer des conclusions en la matière. Les travaux suivent ainsi un processus purement technique basé sur les résultats de modélisations prenant en compte l'exposition d'une part, et la couverture et qualité de service d'autre part. Dans cette démarche, des mesures de terrain permettent de confronter les modèles à la réalité.

1.3 Méthode de travail

Une démarche scientifique et technique aussi novatrice que celle qui a été mise en œuvre dans le cadre du COMOP ainsi que la volonté d'avancer en concertation avec les parties prenantes expliquent qu'il ait fallu du temps afin que les travaux parviennent à maturité et que leurs résultats soient partagés. Chaque fois que cela s'est avéré nécessaire, le président du COMOP a fait le choix d'atteindre le consensus. Ainsi le COMOP a produit des protocoles techniques de qualité, partagés par les experts des organismes publics, les opérateurs, les associations, les élus locaux et l'Etat.

L'Agence Nationale des Fréquences a assuré le pilotage technique de cette étude qui se compose de quatre volets, pris en charge après consultation par les quatre prestataires que sont:

- le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) pour le volet « modélisation de la propagation des ondes électromagnétiques ». Ces modélisations ont été réalisées avec le logiciel MITHRA-REM³,
- l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) pour le volet « mesures des niveaux d'exposition aux ondes électromagnétiques »,
- l'entreprise Advanced Topographic Development & Images (ATDI) pour le volet « modélisation de la couverture » et « reconfiguration des réseaux »,
- l'entreprise Global Engineering Telecom (GET) pour les « tests de la qualité de service et de couverture ».

Pour chaque site d'expérimentation, les études sur les impacts de diminutions de l'exposition comportent trois grandes phases :

- Dans un premier temps, un état des lieux a été réalisé sur chaque zone d'expérimentation. Il s'agit d'une évaluation initiale, réalisée à un instant donné, en 2010 ou 2011 selon les zones, de l'exposition, aux ondes électromagnétiques émises

³ Les caractéristiques techniques de ce logiciel sont consultables sur le site internet <http://geomod.fr/gmd-societe/gt-accueil/gt-logiciels/gt-log-mithra-suite/gt-log-mithra-rem/>

par les antennes relais 2G et 3G de téléphonie mobile (par simulations informatiques en 3D et mesures sur le terrain), de la couverture des réseaux de téléphonie mobile (par simulation en 3D) et de la qualité du service rendu aux utilisateurs de ces différents réseaux (tests sur le terrain). Cet état des lieux est décrit dans au **Chapitre 2**.

Les premiers résultats ont montré que les niveaux moyens d'exposition mesurés sont globalement assez faibles et toujours très inférieurs aux valeurs limites réglementaires. Cependant, pour certains points géographiquement peu étendus, les niveaux d'exposition sont localement sensiblement plus importants que la moyenne observée sur la zone d'expérimentation concernée. Ces points sont appelés points plus exposés (PPE). Une réflexion a ainsi été menée pour identifier et étudier les PPE et ensuite élaborer des scénarios concrets permettant de diminuer l'exposition sur ces points. Le traitement des points plus exposés est décrit dans le **Chapitre 3**.

Ce traitement constitue l'un des volets de la réduction de l'exposition, celle-ci pouvant être également abordée par le biais d'une réduction globale de la puissance des antennes.

- Dans un deuxième temps, et à partir des résultats de l'état des lieux, une évaluation de l'impact d'une diminution globale de la puissance des antennes relais de téléphonie mobile a eu lieu pour certaines zones, en réalisant des simulations numériques en 3D de l'exposition aux ondes électromagnétiques et de la couverture des réseaux de téléphonie mobile pour les principaux services proposés par les opérateurs (voix et transmission de données via internet);

Pour confronter les simulations à la réalité du terrain, des mesures de l'exposition et de la qualité de service rendu aux utilisateurs ont donné lieu à une expérimentation terrain durant une période de 5 jours, avec une baisse réelle de la puissance des antennes relais pendant 2 jours. Pour pallier la défaillance probable du service de téléphonie mobile au cours de l'expérimentation, le COMOP a retenu le protocole simplifié proposé par les opérateurs consistant en une diminution de puissance qui ne concerne qu'une fréquence en 2G 1800 MHz pour chaque opérateur ;

- Etant donné que la réduction de l'exposition du public, obtenue en diminuant la puissance des antennes relais, conduit inévitablement à une dégradation de la couverture, la dernière étape consiste à simuler la reconfiguration du réseau d'antennes nécessaire pour restaurer la couverture initiale. Cette reconstitution se fait en complétant le réseau avec d'autres émetteurs tout en maintenant le niveau d'exposition visé.

Les simulations et expérimentations terrain d'abaissement de puissance des antennes relais ainsi que les simulations de reconfiguration sont décrites dans le **Chapitre 4**.

Les réseaux de téléphonie mobile déployés étant 2G et 3G au début des études, la 4G (LTE) a été prise en compte lors d'une dernière étape en 2012, en engageant des travaux de simulation de l'impact du déploiement d'antennes 4G (LTE) théoriques sur l'exposition du public. Ces travaux sont décrits dans le **Chapitre 5**.

Compte tenu de la date de lancement des travaux, seuls les réseaux des 3 opérateurs historiques (Bouygues Télécom, SFR et Orange) ont été étudiés, Free mobile ayant obtenu sa licence 3G en janvier 2010 avec un déploiement progressif de ses antennes relais.

Plusieurs zones d'expérimentation ont été choisies afin de tenir compte de la diversité des environnements géographiques sur le territoire national.

1.4 Choix et caractéristiques des villes pilotes/zones d'étude

Suite au lancement d'un appel à candidatures fin 2009, qui a été suivi de 281 candidatures potentielles, le COMOP a sélectionné, sur la base d'une présélection établie par un prestataire et de critères permettant d'obtenir une diversité des situations, pour les études, 29 zones d'expérimentations dans 28 communes ou communautés pilotes, réparties sur tout le territoire.

Douze collectivités pilotes ont été retenues pour les études sur la concertation et l'information (9 sont restées dans l'expérimentation jusqu'à la fin) et 17 (16 quartiers encore impliqués) pour le volet sur l'exposition de la population aux ondes, qui fait l'objet de ce rapport.

Ces quartiers pilotes ont été choisis pour représenter un échantillonnage de la diversité d'environnements. Les résultats donnent donc une bonne indication de l'exposition des français aux ondes électromagnétiques émises par les antennes relais de téléphonie mobile dans ces différents types d'environnement.

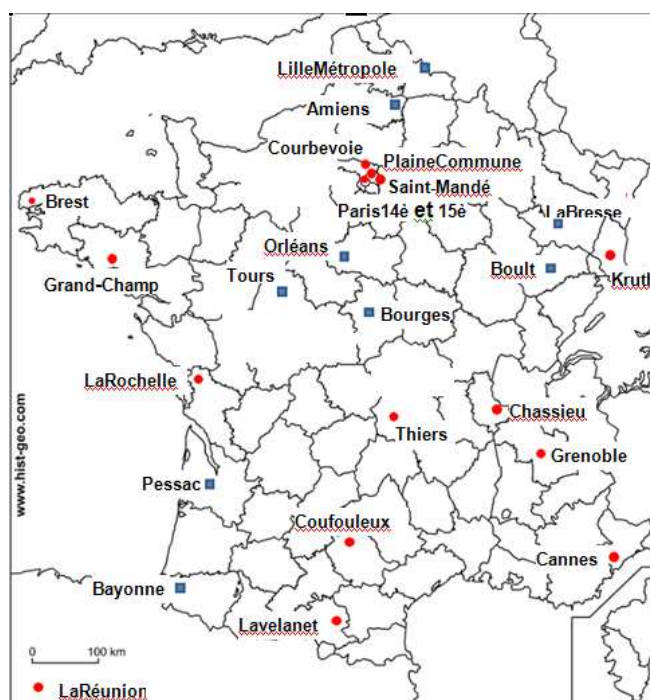


Figure 5 : carte des collectivités pilotes ayant participé aux expérimentations du COMOP puis du COPIC (concertation en bleu, exposition en rouge)

Typologie	Ville	département	superficie de la ville (km ²)	population (2009)	densité de population (hab/km ²)
Rural relief faible	Couffouleux	Tarn (81)	27,2	2212	81,4
	Grand-Champ	Morbihan (56)	223,4	19515	87,4
Rural zone montagneuse	Kruth	Haut-Rhin (68)	22,1	1029	46,6
	Lavelanet	Ariège (09)	12,6	6646	528,7
Périurbain peu dense	Brest Métropole Océane	Finistère (29)	49,5	141315	2854,3
	Chassieu	Rhône (69)	11,6	9612	830,8
	Thiers	Puy-de-Dôme (63)	44,5	11531	259,2
Urbain moderne dense	Grenoble	Isère (38)	18,1	155632	8584,2
	La Rochelle	Charente Maritime (17)	28,4	74707	2627,8
	Saint Denis de la Réunion	La réunion (974)	142,8	145209	1016,9
Centre ville ancien dense	Cannes	Alpes-Maritimes (06)	19,6	73372	3739,7
	Paris : 14 ^{ème} arr	Paris (75)	105,4	2234105	21196,4
	Paris : 15 ^{ème} arr	Paris (75)			
	Plaine Commune	Seine-Saint-Denis (93)	43,1	353990	8215,1
	Saint Mandé	Val de Marne (94)	0,9	22627	24594,6
Haute densité	Courbevoie	Hauts de Seine (92)	4,2	86945	20850,1

Figure 6 : tableau récapitulatif des collectivités pilotes ayant participé aux travaux sur l'exposition

La première étape de l'état des lieux, qui comprend la modélisation et les mesures d'exposition, ainsi que la modélisation de la couverture et les mesures de qualité de service, a été menée à terme pour l'ensemble des 16 zones d'expérimentation.

Les simulations d'abaissement de puissance ont été planifiées sur l'ensemble des 16 zones d'expérimentation.

Les étapes d'expérimentation terrain d'abaissement de puissance et de simulation de reconfigurations de réseau ont été, quant à elles, lancées dans 7 zones, illustrant les différents types d'environnement géographique. Le choix de se restreindre à 7 zones d'expérimentation a été dicté par des raisons à la fois techniques et financières.

Dans tous les cas de figure, les expérimentations réalisées ont demandé un investissement important de la part des communes et des communautés.

Toutes les études prévues (voir figure 7) n'ont pu être menées à leur terme au moment de la publication de ce rapport, l'état d'avancement des travaux à cette date figure en annexe E.

Typologie	Ville	Etat des lieux	Simulation d'abaissement de puissance	Expérimentation terrain d'abaissement de puissance	Simulation de reconfiguration
Rural relief faible	Couffouleux				
	Grand-Champ				
Rural zone montagneuse	Kruth				
	Lavelanet				
Périurbain peu dense	Brest Métropole Océane				
	Chassieu				
	Thiers				
Urbain moderne dense	Grenoble				
	La Rochelle				
	Saint Denis de la Réunion				
Centre ville ancien dense	Cannes				
	Paris : 14ème arr				
	Paris : 15ème arr				
	Plaine Commune				
	Saint Mandé				
Haute densité	Courbevoie				

Figure 7 : tableau récapitulatif des expérimentations prévues (cases colorées en bleu) dans chaque collectivité

Dans chaque ville pilote, le processus de définition de la zone d'expérimentation et du recueil des données a été le suivant :

- proposition initiale de la commune (dossiers de candidature, ou nouvelle proposition plus précise si nécessaire) ;
- vérifications de la présence d'antennes dans la zone pour chaque opérateur, et le cas échéant, ajustement de la zone ;
- définition du contour définitif de la zone d'expérimentation : adressé à la commune pour information ;
- recueil auprès des opérateurs des données sur les antennes relais (puissance, gain) concernées ;
- vérification de la cohérence des données avec les dossiers COMSIS de l'ANFR.

Une antenne relais peut avoir plusieurs émetteurs, par exemple si elle émet à la fois en 2G et en 3G. Les travaux du COMOP, puis du COPIC ont modélisé l'exposition générée par chacun des émetteurs en service. La ZIE ou Zone d'Impact pour l'Exposition est la zone, plus large que la Zone d'Expérimentation (ZE), incluant toutes les antennes relais et donc tous les émetteurs devant être pris en compte pour l'évaluation de l'exposition dans la ZE.

Typologie	Ville	quartier	superficie de la zone d'étude (km²)	nombre d'émetteurs zie
Rural relief faible	Couffoulex	centre bourg	28,4	21
	Grand-Champ	quartier de Quénah Guen	106,2	67
Rural zone montagneuse	Kruth	toute la commune	51	26
	Lavelanet	quartier de la Coume	12,8	40
Périurbain peu dense	Brest Métropole Océane	quartier Relecq- Kerhuon	13,9	60
	Chassieu	bourg et ZI	8,5	187
	Thiers	quartier les Gravières	43	62
Urbain moderne dense	Grenoble	secteur 6	6,7	275
	La Rochelle	quartier Mireuil	9,2	141
	Saint Denis de la Réunion		17,7	506
Centre ville ancien dense	Cannes	Cannes centre	1,4	112
	Paris : 14 ^{ème} arr	Alésia	3	816
	Paris : 15 ^{ème} arr	Parc des expositions	0,6	336
	Plaine Commune	Saint Denis ou Saint Denis centre	3,9	338
	Saint Mandé	toute la ville	2,4	347
Haute densité	Courbevoie	la Défense	2	627

Figure 8 : données relatives aux zones d'expérimentation

2 L'ETAT DES LIEUX : EXPOSITION, COUVERTURE ET QUALITE DE SERVICE

Le présent chapitre a pour objet de définir un état initial servant de référence pour la suite des travaux. Il s'attache ainsi à évaluer sur chaque zone d'expérimentation l'exposition aux ondes électromagnétiques émises par les antennes relais de téléphonie mobile, ainsi que la couverture des réseaux et la qualité du service rendu aux utilisateurs à un instant donné, en 2010 ou 2011, selon les zones d'expérimentation. Certaines mesures de l'exposition ont porté sur l'ensemble des sources de radiofréquences et donc pas uniquement sur la téléphonie mobile.

2.1 Cadre de l'étude : méthodologie, protocole, incertitudes

L'exposition est caractérisée ici par le champ électrique en V/m (différence de tension de 1 Volt pour une distance de 1 mètre) tandis que la couverture et la qualité de service sont caractérisées par les zones où un service de téléphonie mobile est disponible avec un certain niveau de qualité (taux de réussite de l'appel, débit disponible...).

L'exposition d'une part, la couverture et la qualité de service d'autre part, sont directement liées. En effet, lorsqu'on diminue la puissance d'un émetteur, l'exposition, la qualité de service et la couverture diminuent ; dès lors, le service peut ne plus être disponible pour certaines zones.

L'état des lieux est effectué à partir de modélisations numériques (pour l'exposition et la couverture) et de mesures (pour l'exposition et la qualité de service). Cette démarche scientifique est classique et les deux aspects sont complémentaires. Les mesures permettent de vérifier les simulations qui elles-mêmes permettent de dégager des lois générales. Ainsi, mesures et modélisations sont complémentaires dans le cadre de cette étude. Plusieurs types de mesures ont été effectués, portant sur quelques dizaines à quelques milliers de points. Les modélisations ont produit, quant à elles, des résultats sur plusieurs centaines de millions de points. L'étude a notamment évalué le niveau de cohérence entre les deux approches.

2.1.1 Modélisations

Les modélisations permettent de couvrir de larges zones géographiques, y compris en 3D pour les modélisations de l'exposition avec toutes les façades des bâtiments. Elles montrent ainsi une image globale et statistique de l'exposition et de la couverture – image qui s'appuie sur des calculs et des résultats portant sur des millions de points. Dans l'ensemble des travaux du COMOP puis du COPIC, la modélisation de l'exposition prend en compte la puissance maximale des émetteurs de téléphonie mobile, et calcule les niveaux d'exposition sur toutes les surfaces situées à l'extérieur sur les façades des bâtiments et à 1,5 m au-dessus du sol.

Plus précisément, la modélisation a consisté :

- à quadriller toutes les surfaces extérieures avec un maillage d'un pas de 1 mètre pour les façades de bâtiment et un maillage d'un pas de 2 à 5 mètres, en fonction du type d'environnement géographique, pour les surfaces au sol ;
- puis, à simuler la propagation des ondes radio émises par l'ensemble des émetteurs des antennes relais en tenant compte des effets de réflexion, de diffraction, de masque...
- et enfin, à calculer la somme des expositions aux ondes radio reçues dans chacun des millions de points du quadrillage.

Dans la dernière phase de l'étude, ces modélisations permettent aussi de simuler de nouvelles configurations pour les stations de radiotéléphonie mobile dans le cadre des études d'abaissement de puissance (voir les chapitres 3 et 4).

La modélisation de l'exposition par le CSTB repose sur :

- les caractéristiques complètes des émetteurs de téléphonie mobile situés à l'extérieur des bâtiments : émetteurs macro et microcellulaires ;
- un modèle numérique à jour et d'une précision de l'ordre du mètre au minimum pour les données topographiques et sur les bâtiments.

Les antennes micro-cellulaires situées à l'intérieur des bâtiments ont été exclues de ces travaux car il est impossible de modéliser la propagation des ondes radio qu'elles émettent sans de nombreuses données complémentaires (murs, cloisons et matériaux à l'intérieur des bâtiments...) qui auraient été très difficiles à réunir.

L'expérimentation a été basée sur les données de terrain et bâti fournies par les communes et celles de l'Institut Géographique National (IGN). Le Centre d'études techniques de l'équipement (CETE) de Lyon a dû redéfinir les caractéristiques de plus du tiers des bâtiments, en particulier leur forme et leur hauteur. Ce travail est très important puisqu'une erreur de bâti d'un mètre peut se traduire par un niveau d'exposition fortement erroné dans un sens ou dans un autre. Les émetteurs sont positionnés précisément sur le bâti à partir des plans d'installation du site.

Les critères de **couverture** sont ceux proposés par la Fédération Française des Télécoms (FFT) et les opérateurs. Ils font intervenir à la fois le niveau de signal utile de l'émetteur de la cellule considérée et l'effet de brouillage d'une cellule proche utilisant la même fréquence. Dans la réalité, chaque opérateur a des critères qui lui sont propres et qui dépendent de l'outil de planification utilisé.

Chaque opérateur a ses propres critères pour la modélisation de sa couverture et fonction de ses objectifs de qualité de service. Il s'agit de données concurrentielles. Pour les travaux du COMOP, puis du COPIC, la FFT a consolidé des critères à partir des indications fournies par chacun des opérateurs. Ces critères ont été validés par l'ANFR et ATDI.

Dans chaque zone d'expérimentation, la modélisation de la couverture a été réalisée, opérateur par opérateur, en traitant séparément la 2G, la 3G pour les communications vocales et la 3G pour les connexions Internet et en distinguant trois situations : la couverture à l'extérieur des bâtiments, la couverture intérieure après premier mur et la couverture intérieure après deuxième mur. Elle se traduit par plusieurs cartes de couverture et par plusieurs pourcentages de territoire couvert pour chacun des opérateurs, en fonction de la technologie, du service et du lieu.

Dans chacun des millions de points du modèle numérique, la modélisation de la couverture calcule un niveau de signal reçu par les antennes de chacun des opérateurs pris séparément et pour chacune des technologies (2G et 3G), tandis que la modélisation de l'exposition calcule un niveau cumulé d'exposition aux ondes radio émises par l'ensemble des antennes relais 2G et 3G de tous les opérateurs.

Les résultats de **simulation de couverture et de l'exposition** sont, de façon générale, à considérer de manière statistique plutôt que point par point. Dans le cadre des travaux techniques du COMOP, puis du COPIC, les simulations de couverture auront essentiellement un intérêt dans la phase de réduction de l'exposition pour estimer la dégradation de la couverture.

La pénétration des ondes à l'intérieur d'un bâtiment dépend fortement des matériaux traversés, le schéma ci-dessous fournit des valeurs caractéristiques pour le verre et le mur plein :

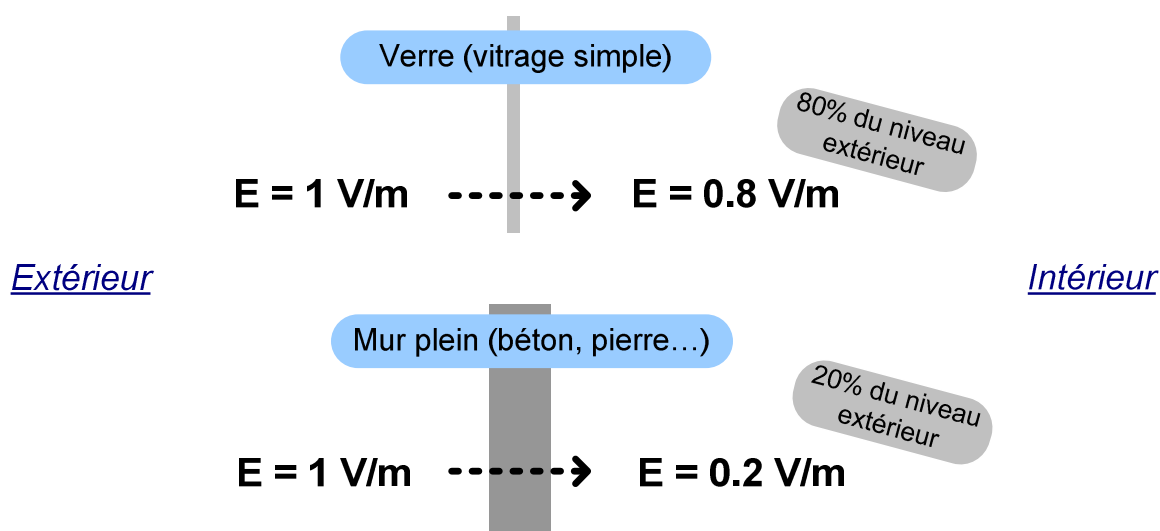


Figure 9 : représentation de l'atténuation de l'exposition par une paroi en verre et un mur plein

Remarque : dans la grande majorité des habitations les résultats de mesure à proximité d'une fenêtre sont similaires que la fenêtre soit ouverte ou fermée. Par contre lorsque la vitre a subi un traitement métallisé particulier (traitement athermique), l'atténuation du champ peut être significative, quasiment celle d'un mur plein.

2.1.2 Mesures

Les mesures d'exposition permettent de se confronter à la réalité et de confirmer, ou de rectifier localement les modélisations. Elles fournissent également des niveaux d'exposition pour les zones qui ne sont pas modélisées, comme à l'intérieur des bâtiments.

Différentes sources d'exposition aux radiofréquences sont présentes à l'intérieur des habitations. Les mesures prennent donc en compte ces autres émetteurs d'ondes radio qui se situent entre 80 MHz et 3 GHz (voire jusque 6 GHz pour prendre en compte le WiFi 5 GHz et le Wimax). Ainsi, les mesures de l'exposition consistent d'une part à évaluer la part de l'exposition due aux antennes relais et d'autre part à étudier les aspects statistiques de l'exposition d'une personne pendant une journée ou une semaine ou encore l'évolution du niveau d'exposition au cours d'une journée en un point donné.

Les objectifs du COMOP/COPIC étant différents de l'objectif auquel répond le protocole de mesure de l'ANFR (vérifier les niveaux d'exposition tels que définis par la réglementation en vigueur), des méthodes de mesure et d'analyse des résultats adaptées aux différentes expérimentations prévues par le COMOP/COPIC ont été développées et adoptées par consensus entre les différentes parties prenantes.

Dans chaque zone d'expérimentation, les mesures comprennent :

- des mesures détaillées sur dix lieux d'habitation définis dans les zones les plus exposées. Ces lieux ont été identifiés à partir des résultats des modélisations numériques effectuées par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment de Grenoble (CSTB) ;
- une mesure de l'exposition dans les principales rues de chaque commune, couplée à une localisation simultanée de la mesure et dite pour cela « géoréférencée » ;
- dans trois des dix lieux d'habitation situés dans les zones les plus exposées, une mesure de la variation du champ au cours du temps sur une journée ou une semaine dite « variation temporelle » ;
- dans trois des dix lieux d'habitation situés dans les zones les plus exposées, une mesure de l'exposition individuelle de trois personnes résidant dans ces lieux pendant une journée ou une semaine.

Les mesures couvrent les émissions des principaux services utilisant des ondes radiofréquences : la radio en modulation de fréquence (FM), la télévision (TNT), le système de téléphonie cellulaire des services de sécurité et de police, ceux de la téléphonie cellulaire, le téléphone sans fil domestique (DECT), le WiFi (et le four micro-ondes, qui fonctionne dans la même bande de fréquence que le WiFi).

La qualité de service est une notion distincte de la couverture, Alors que la caractérisation de la couverture repose sur une mesure de puissance à l'entrée d'un récepteur dans des conditions similaires à celle d'un téléphone portable en extérieur et en intérieur, la qualité de service est directement mesurée à partir de la qualité d'une communication effective.

La méthodologie utilisée est celle de l'ARCEP pour comparer la qualité de service des opérateurs :

- **mesures du service voix** (piéton intérieur/extérieur, passager d'un véhicule) : tenter d'établir une communication, puis évaluer la qualité auditive, pour chaque opérateur ;
- **mesures du service « données »** (statique intérieur et extérieur) : envoi de fichiers et mesure des débits obtenus ;

Les mesures ont été effectuées avec les meilleurs abonnements « grand public » de chaque opérateur au moment où l'état des lieux a été réalisé, c'est-à-dire en 2010 ou 2011, selon les zones d'expérimentation. Pour les données, la qualité de service mesurée dépend aussi de la qualité des liaisons terrestres entre le réseau de chacun des opérateurs et les serveurs informatiques auxquels le mesureur se connecte.

2.1.3 Incertitudes

Dans le cadre d'une démarche scientifique, il est fondamental d'associer une **incertitude** à chaque résultat. L'incertitude du résultat d'une mesure ou d'une simulation reflète l'impossibilité de connaître exactement la valeur du niveau de champ. Le résultat peut, sans qu'on le sache, être très proche de la valeur réelle même s'il possède une incertitude élevée. C'est pourquoi l'incertitude du résultat ne doit pas être confondue avec l'erreur résiduelle inconnue.

L'incertitude est utilisée en général pour comparer des résultats entre eux. Pour la valeur d'une grandeur donnée, si deux intervalles issus de résultats différents ont des valeurs communes, on peut déclarer que les résultats sont cohérents aux incertitudes près.

L'évaluation de l'incertitude nécessite d'identifier toutes les sources d'erreurs (méthode, environnement, appareils de mesure, données d'entrée des simulations...) et elle est ici exprimée en pourcentage. Par exemple une incertitude de 40 % pour une valeur de 1 V/m signifie que le résultat se situe dans l'intervalle de confiance suivant (dans 95 % des cas) avec comme valeur la plus probable 1 V/m (la distribution des valeurs probables suit une loi dite normale) :

$$\begin{array}{ccc} & [0,7 \text{ V/m} - 1,4 \text{ V/m}] & \\ \swarrow & & \searrow \\ = 1/1,4 & & = 1 \times 1,4 \end{array}$$

L'incertitude pour les mesures ou les modélisations de l'exposition varie suivant la nature de l'environnement.

Pour les mesures dans les lieux les plus exposés, un résultat de 1 V/m correspond à :

- une exposition comprise entre 0,7 et 1,4 V/m pour une mesure à l'analyseur de spectre, soit une incertitude de 40% ;
- une exposition comprise entre 0,6 et 1,6 V/m pour une mesure à sonde large bande, soit une incertitude de 60% ;
- une exposition comprise entre 0,55 et 1,8 V/m pour une mesure de variation temporelle avec l'exposimètre, soit une incertitude de 80%.

Pour les simulations, l'incertitude vis-à-vis du champ direct est du même ordre de grandeur (environ 60%).

En présence de trajets multiples (présence d'obstacle entre le point de mesure et les émetteurs), ou de trajets diffractés (influence d'une arrête d'un bâtiment par exemple), des évanouissements rapides du niveau de champ pour un déplacement faible (inférieur à la longueur d'onde, environ 30 cm à 900 MHz) conduisent à des incertitudes plus élevées notamment lorsque les trajets directs ne sont pas prépondérants, ce qui est le cas en général pour les niveaux les plus faibles.

Ce cas est rencontré notamment pour les mesures géoréférencées ou les mesures d'exposition individuelle avec un exposimètre, compte tenu des niveaux enregistrés et du couplage avec le véhicule ou la personne qui porte l'exposimètre. Du fait des valeurs plus élevées des incertitudes, l'exploitation des données est réalisée statistiquement.

2.1.4 Zones d'études

Dans la démarche suivie plusieurs zones sont définies :

- la Zone d'Expérimentation (ZE) où ont lieu toutes les expérimentations. Cette zone est déterminée à partir du quartier proposé par la municipalité et ajustée d'un point de vue radioélectrique ;
- la Zone d'Impact pour l'Exposition (ZIE) où les stations radioélectriques peuvent influencer sur le résultat du niveau d'exposition dans la ZE. La ZIE avec la ZE sont prises en compte pour les modélisations d'exposition ;
- la Zone d'Impact Couverture (ZIC) où les stations radioélectriques pourraient influencer sur la couverture dans la ZE en cas de baisse du niveau de puissance de ces émetteurs dans cette zone. Les trois zones ZIC, ZIE et ZE sont potentiellement prises en compte pour les modélisations de couverture.

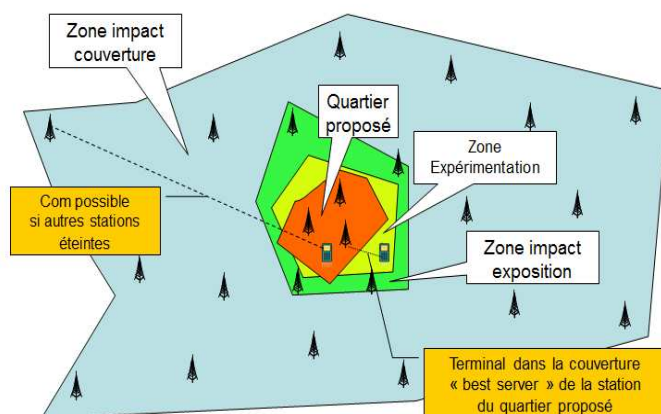


Figure 10 : représentation des différentes zones d'études

2.2 Modélisations de l'exposition

2.2.1 Objectifs

La modélisation numérique permet, à partir des données terrain, bâti et émetteurs radioélectriques, de calculer le niveau de champ électrique en tous points (sol, façades des bâtiments) d'une large zone géographique.

Ces niveaux sont calculés à 1,5 mètre au-dessus du sol avec un maillage de deux mètres à cinq mètres de côté, selon les types d'environnement géographique, et sur l'ensemble des façades des bâtiments de la Zone d'Expérimentation avec un maillage d'un mètre de côté. En effet, c'est en façade que l'on s'attendait à trouver les plus fortes expositions. Chaque modélisation conduit donc à produire des données à l'échelle de millions de points.

L'ensemble des zones d'expérimentation des seize communes pilotes ont été modélisées et les résultats se traduisent par :

- des cartes de niveaux d'exposition : cartes en deux dimensions sur le sol de la zone d'expérimentation, et vue en trois dimensions des niveaux en façades des bâtiments ;
- l'identification de zones de niveaux maximum et l'analyse des émetteurs contributeurs ;
- des analyses statistiques : niveau moyen, niveau médian, répartition statistique des niveaux.

Au-delà d'un état des lieux de l'exposition dans la zone d'expérimentation, la modélisation numérique permet l'identification d'une dizaine de zones d'intérêt pour les campagnes de mesure réalisées par l'INERIS.

2.2.2 Résultats

2.2.2.1 Exposition au niveau du sol

L'exposition au niveau du sol peut être appréhendée à la fois visuellement (cartographie des niveaux d'exposition) et de façon statistique (diagramme de distribution).

Les résultats de la ville de Saint-Denis de la Réunion sont fournis ci-après à titre d'exemple. Ces résultats portent sur une zone d'expérimentation de 17,7 km², dont une surface au sol de 15,0 km², avec 506 émetteurs de téléphonie mobile.

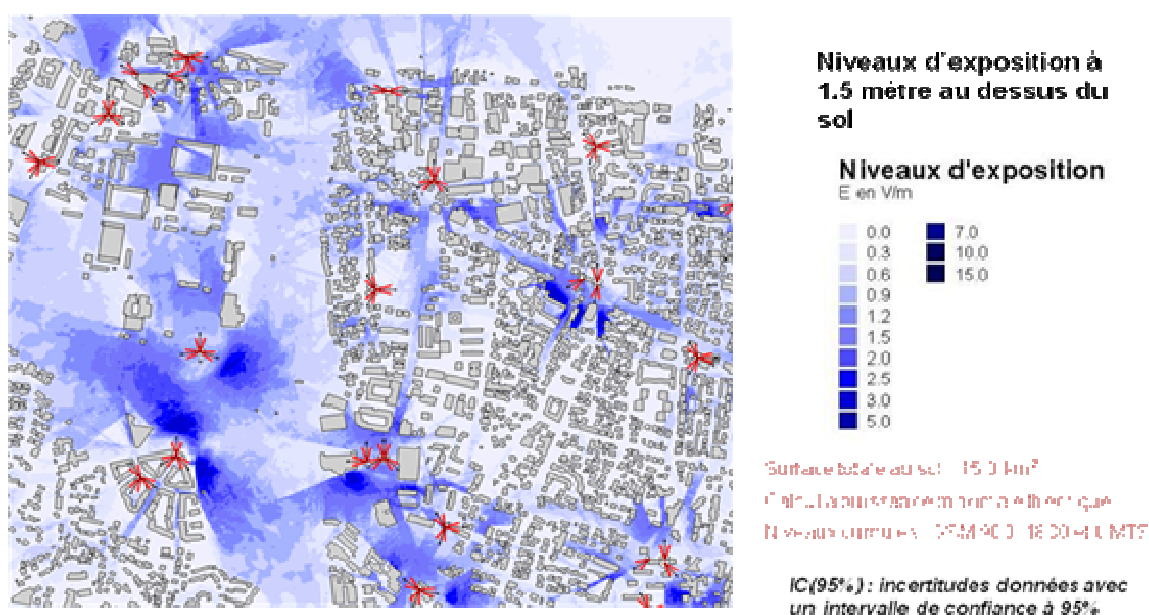


Figure 11: cartographie des niveaux d'exposition à 1,5m du sol - St Denis de la Réunion

La carte ci-dessus fait apparaître des zones foncées (avec une exposition d'un niveau plus élevé) entourant chacune des antennes alors que directement sous l'antenne, l'exposition a un niveau plus faible.

On constate par ailleurs une exposition au sol assez classique pour ce type d'environnement (urbain moderne dense). Les distributions de l'exposition rencontrées sont légèrement plus élevées que celles trouvées dans d'autres villes, mais restent très faibles par rapport aux seuils réglementaires : l'exposition médiane (celle de la moitié des points) est inférieure à 0,3 volt par mètre (voir répartition des niveaux ci-dessous).

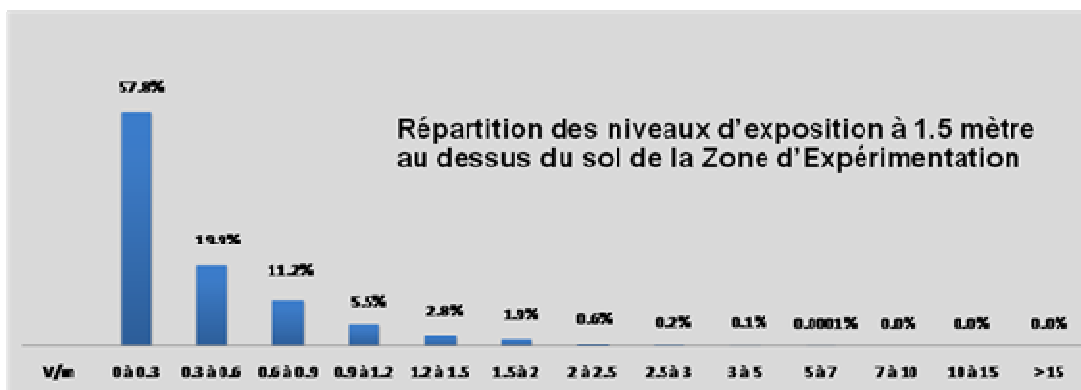


Figure 12 : répartition des niveaux d'exposition à 1,5m du sol – St Denis de la Réunion

Les résultats issus des 16 villes pilotes (présentés dans les annexes C et D) sont à analyser selon les types d'environnement. Le graphique suivant présente le niveau maximal d'exposition modélisé à 1,50 m au-dessus du sol, pour 90% (bas du rectangle) et 99% des points (haut du rectangle) pour la ville présentant la valeur la plus forte.

La valeur à 90 % signifie que seuls 10% des points dépassent cette valeur. Pour 99 % il s'agit de 1% des points.

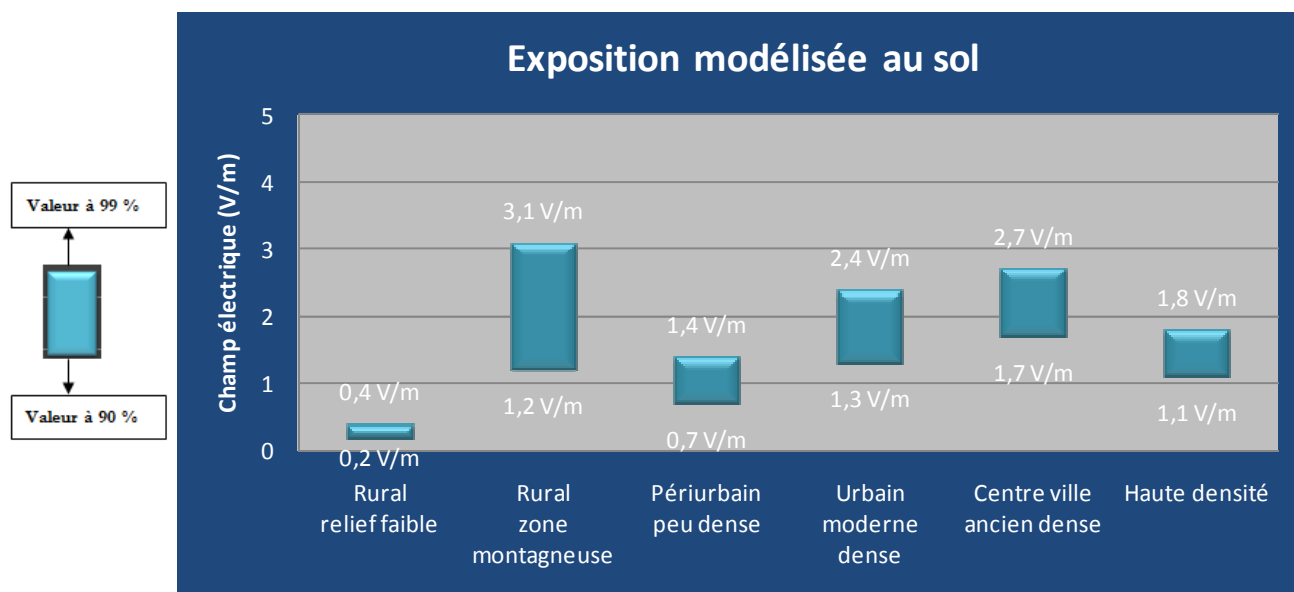


Figure 13: synthèse par type d'environnement des niveaux d'exposition modélisés au sol

Hormis pour la zone rurale relief faible, les niveaux au sol sont relativement homogènes d'un environnement à l'autre, avec des valeurs dans 99% des cas toujours inférieures à 3,1 V/m.

On n'observe pas de règle en fonction de la densité de population.

Les valeurs maximales au sol par type d'environnement sont les suivantes :

Rural relief faible	Rural zone montagneuse	Périurbain peu dense	Urbain moderne dense	Centre-ville ancien dense	Haute densité
1,3 V/m	6,5 V/m	4,8 V/m	6,7 V/m	6,1 V/m	5,6 V/m

Figure 14 : synthèse par type d'environnement des niveaux d'exposition maximum modélisés

2.2.2.2 Exposition en façade

La même analyse est faite en ce qui concerne l'exposition en façade. La carte issue des modélisations et la répartition des expositions de Saint-Denis de la Réunion sont fournies ci-après à titre d'exemple :

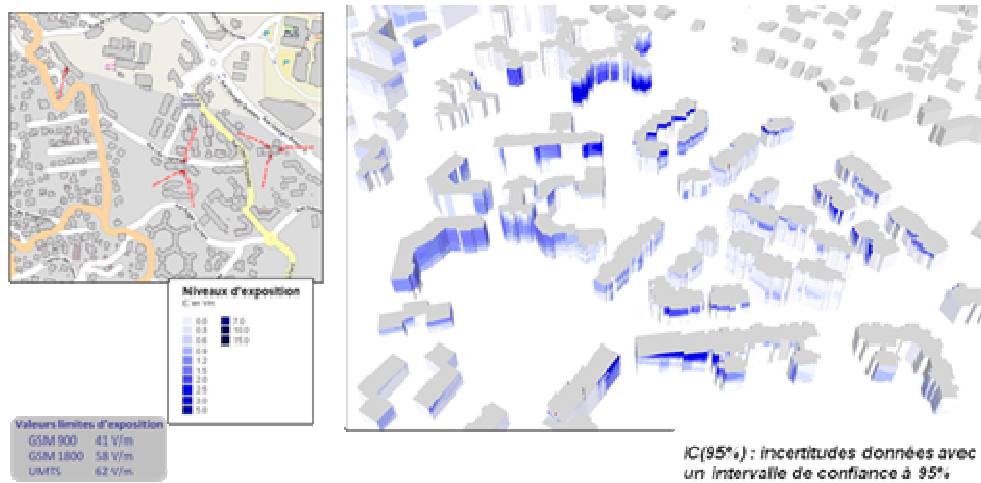


Figure 15 : cartographie des niveaux d'exposition modélisés en façade – St Denis de la Réunion

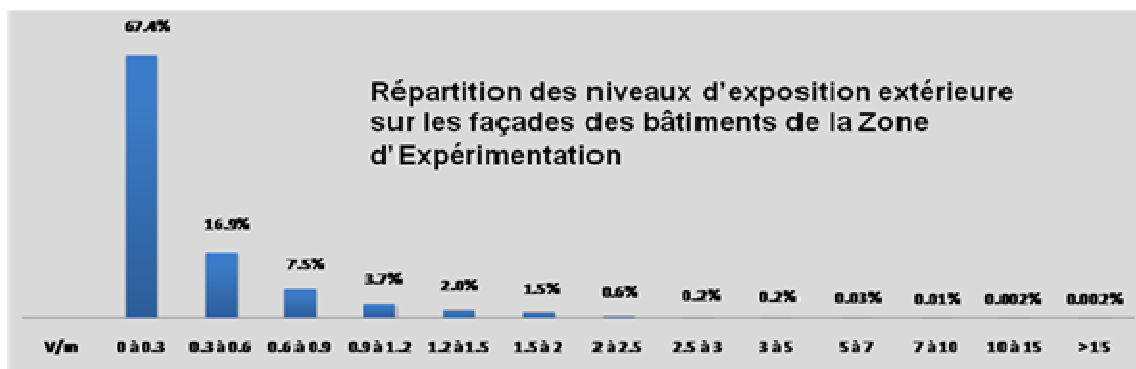


Figure 16 : répartition des niveaux d'exposition modélisés en façade – St Denis de la Réunion

Les résultats de la modélisation de l'exposition en façade sont présentés, en annexe C, pour l'ensemble des communes pilotes illustrant différents types d'environnement géographique.

Certains lieux, limités en nombre et restreints en surface, présentent une exposition sensiblement plus élevée, même si elle est toujours inférieure aux seuils en vigueur. Ces lieux, appelés « Points Plus Exposés » (PPE), font l'objet, dans la suite de l'étude technique, de travaux spécifiques visant à les caractériser et à les résorber.

Parmi les PPE les plus significatifs, l'essentiel de l'exposition est due à une seule antenne (pouvant contenir plusieurs émetteurs, plusieurs fréquences). Toutefois, il a été observé un cas pour lequel une exposition élevée résulte d'une colocalisation d'antennes à proximité du lieu de mesure, sur la même terrasse.

D'une façon générale, plus haute est l'antenne par rapport aux bâtiments composant son environnement immédiat, plus faible est la probabilité que son faisceau principal rencontre un bâtiment à proximité. Inversement, plus on met une antenne à une hauteur faible dans une ville, plus elle a une probabilité forte d'intercepter un bâti proche. Il n'y pas de relation directe entre la hauteur d'une antenne et l'exposition en façade d'un bâti à proximité, puisqu'il faut tenir compte du tilt, du diagramme d'antenne, de la distance et de la puissance émise. Installer les émetteurs plus haut que les bâtiments environnants n'est pas toujours possible pour des raisons d'urbanisme ou d'accès à ces points hauts et une telle installation peut dégrader la qualité de service à cause du brouillage entre cellules adjacentes.

Sur le graphique ci-après, le niveau en façade d'exposition maximal pour 90% des points (bas du rectangle), pour 99% des points (haut du rectangle) est représenté pour la ville présentant la valeur la plus forte. La valeur à 90 signifie que seuls 10% des points dépassent cette valeur. Pour 99 % il s'agit de 1% des points.

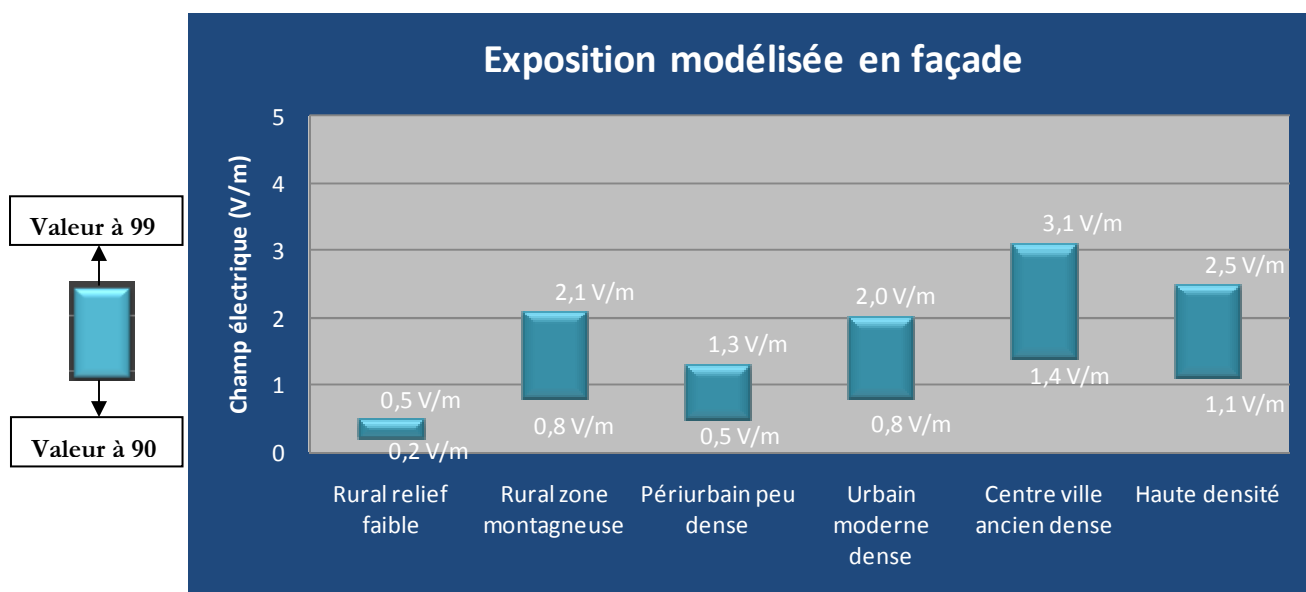


Figure 17 : synthèse par type d'environnement de l'exposition modélisée en façade

Ce graphique montre que l'exposition dans 99% des points modélisés en façade est inférieure à un niveau compris entre 0,5 et 3,1 V/m, selon le type d'environnement géographique.

Dans le cas de Saint-Denis de la Réunion par exemple, seuls 1% des points modélisés ont une exposition supérieure à 2 V/m. La modélisation permet de localiser ce 1% des points et d'identifier les émetteurs qui génèrent ces points. Elle montre que le 1% de points les plus exposés à Saint-Denis de la Réunion (exposition supérieure à 2V/m) sont répartis sur l'ensemble de la zone d'expérimentation, et que ce 1% de points les plus exposés sont générés par 40% des émetteurs.

Après élimination des façades aveugles⁴ et des bâtiments inhabités pour les 16 villes pilotes les valeurs maximales en façade par type d'environnement sont les suivantes :

Rural relief faible	Rural zone montagneuse	Périurbain peu dense	Urbain moderne dense	Centre-ville ancien dense	Haute densité
1,6 V/m	6,3 V/m	6,5 V/m	27,7 V/m	15,3 V/m	15,5 V/m

Figure 18 : synthèse par type d'environnement des niveaux d'exposition modélisés en façade maximum

Le maximum de l'exposition en façade peut être bien supérieur à celui obtenu au niveau du sol. Quelques façades, proches d'une antenne et dans son faisceau principal, concentrent de manière très localisée les expositions les plus élevées.

Comme le montre le graphique ci-après dans différentes zones d'expérimentation, la moyenne des niveaux d'exposition modélisés au sol est toujours légèrement supérieure à la moyenne en façade. Elle peut constituer un indicateur de l'exposition à l'échelle d'une ville, sauf pour les points les plus exposés.

⁴ L'absence d'ouverture sur les façades dites aveugles se traduit par une exposition réduite en intérieur, ces types de façades ainsi que celles des bâtiments inhabités ne sont donc pas pris en compte dans cette synthèse. Ainsi, le niveau maximum corrigé exclut ces cas.

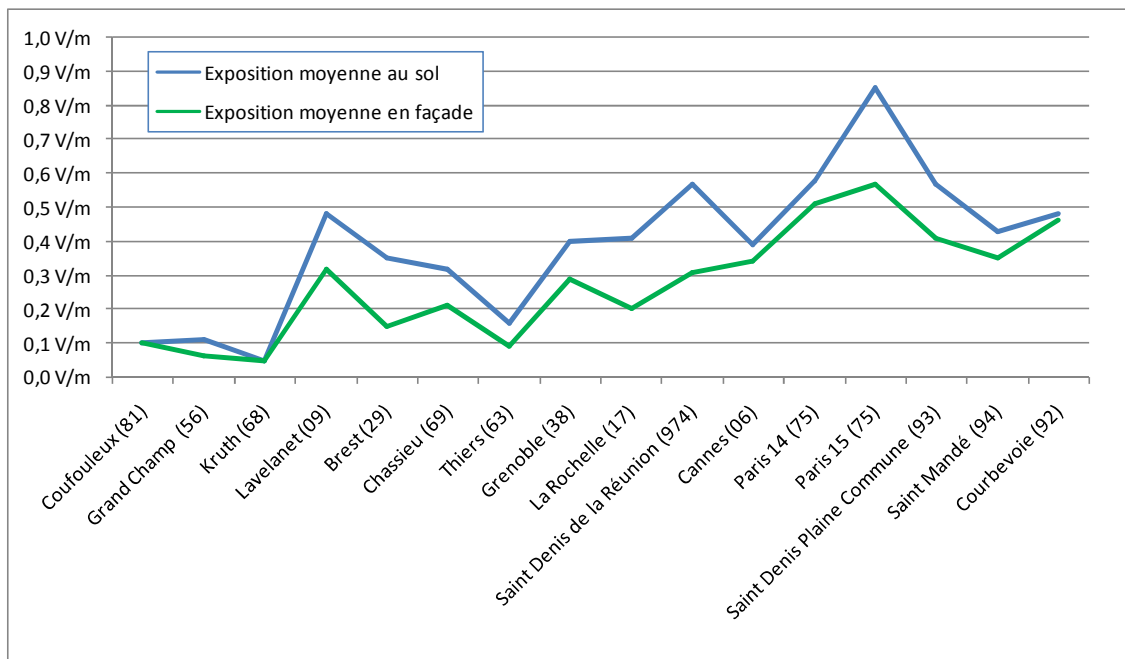


Figure 19 : synthèse par type d'environnement des expositions moyennes modélisées au sol et en façade

Le graphique suivant présente, à Saint-Denis de la Réunion, la répartition des émetteurs en fonction des niveaux d'exposition générés par chacun d'entre eux pris individuellement :

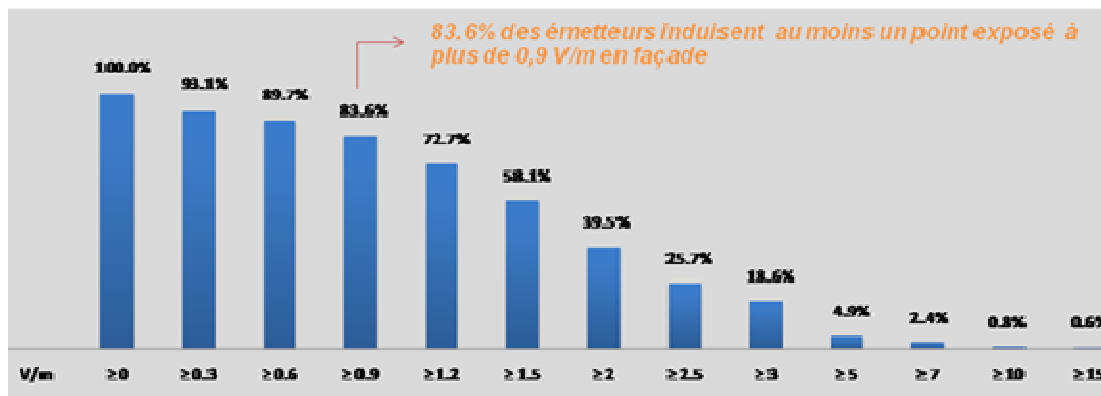


Figure 20 : répartition des émetteurs en fonction de l'exposition qu'ils induisent – St Denis de la Réunion

Sur l'exposition en façade, on retrouve le type de répartition des villes denses, en zone urbaine. 83,6% des émetteurs génèrent au moins un point supérieur à 0,9 V/m en façade et seulement 0,6 % des émetteurs induisent au moins un point supérieur à 15 V/m. Ces chiffres indiquent qu'un nombre limité d'émetteurs génère des niveaux d'exposition maximale.

Le pourcentage d'émetteurs générant au moins un point en façade pour lequel le niveau d'exposition modélisé est supérieur à 0,6 V/m est représenté sur le tableau ci-après.

Couffouleux	52,4 %
Grand-Champ	20,9 %
Kruth	8,3 %
Lavelanet	43,6 %
Brest	50,7 %
Chassieu	33,3 %
Thiers	69,6 %
Grenoble	56 %
La Rochelle	19 %
Saint-Denis de la Réunion	89,7 %
Cannes	32,3 %
Paris 14^{ème}	50 %
Paris 15^{ème}	19,6 %
Plaine-Commune	47,4 %
Saint-Mandé	34,8 %
Courbevoie	43 %

Figure 21 : pourcentages d'émetteurs générant au moins un point en façade pour lequel le niveau d'exposition modélisé est supérieur à 0,6 V/m

La synthèse par typologie d'environnement montre que le pourcentage d'émetteurs générant une exposition supérieure à 0,6 V/m en au moins un point est très important. Il atteint quasiment 90 % du parc d'émetteurs à Saint-Denis de la Réunion, avec un minimum à 8% du parc à Kruth, ce qui signifie notamment que la valeur 0,6 V/m peut statistiquement toujours être dépassée pour un type d'environnement donné.

2.2.3 Conclusions

Les modélisations numériques du CSTB permettent de visualiser les niveaux d'exposition sur l'ensemble de la ZE, au sol et sur les façades des bâtiments.

Les principales conclusions de ces modélisations sont les suivantes :

- Sur l'ensemble des 16 villes pilotes, environ 90% des niveaux d'exposition modélisés sont inférieurs à 0,7 V/m, et 99 % sous 2,7 V/m. La médiane est de 0,14 V/m (l'exposition est dans 50 % des cas inférieure à 0,14 V/m).

De façon générale, il est faux de considérer que le 1% ou les 10% de points les plus exposés résultent respectivement de 1% ou 10% des émetteurs. En considérant le sol et les façades, dans le cas des 16 villes pilotes: 67,1% du total des émetteurs en service induisent au moins un point exposé à plus de 0,7 V/m, 26,7 % des émetteurs induisent au moins un point exposé à plus de 2,7 V/m et 81,8 % des émetteurs induisent au moins un point exposé à plus de 0,14 V/m.

- Sur l'ensemble des 16 villes pilotes, le point le plus exposé est à 6,7 V/m au sol et à 27,7 V/m en façade de bâtiment. Quelques façades, proches d'une antenne et dans son faisceau principal, concentrent de manière très localisée les expositions les plus élevées.
- La moyenne des niveaux d'exposition modélisés au sol est toujours légèrement supérieure la moyenne en façade. Elle peut constituer un indicateur de l'exposition à l'échelle d'une ville, sauf pour les points les plus exposés.
- L'environnement rural relief faible se distingue par un niveau d'exposition plus faible que celui des autres types d'environnement (niveau médian inférieur à 0,1 V/m) ;

Les limites de l'exercice sont les suivantes :

- les réseaux modélisés dans les travaux techniques du COMOP, puis du COPIC sont les réseaux tels qu'ils existaient en 2010 ou 2011, selon les villes pilotes. Les modélisations ne prennent en compte ni le réseau 3G de Free Mobile, ni les 7 réseaux 4G autorisés par l'Etat fin 2011.
- les résultats dépendent fortement de l'exactitude du modèle de bâti : un écart de hauteur, une forme complexe, un élément architectural mal traduit dans le modèle (cheminée, pignon ...) peuvent modifier la modélisation de l'exposition (durant l'expérimentation, le CETE a dû retraiter environ 30 % des éléments de bâti) ;
- la modélisation de l'exposition s'arrête à la façade des bâtiments. Sur les façades, elle traduit l'exposition au niveau d'une fenêtre ouverte ou sur un balcon mais ne représente pas l'exposition à l'intérieur de l'ensemble du bâtiment. Cette exposition à l'intérieur dépend notamment de la nature de chaque façade (composition du mur, présence et localisation des ouvertures...), des cloisons intérieures (localisation et matériaux) et de la présence éventuelle d'émetteurs à l'intérieur du bâtiment (antennes microcellulaires).

Il est très difficile de convertir un niveau de champ calculé en façade d'un bâtiment en un niveau de champ représentatif de l'exposition à l'intérieur du bâtiment. Tout dépend des ouvertures de la façade que l'on ne voit pas dans la modélisation ainsi que des matériaux du mur et même des vitres (des lieux dans lesquels les vitres atténuent fortement les niveaux de champ ont été identifiés à La Défense).

La synthèse des résultats (en incluant le sol et les façades) est présentée dans le tableau ci-après par type d'environnement.

	50% (médiane)	90%	99%	99.9%	100% (Max)	Nombre de points de calcul
Rural relief faible	0,03 V/m	0,2 V/m	0,5 V/m	0,8 V/m	5,1 V/m	135 671 318
Rural zone montagneuse	0,1 V/m	0,7 V/m	2,2 V/m	4,0 V/m	6,5 V/m	64 689 859
Périurbain peu dense	0,1 V/m	0,4 V/m	1,2 V/m	2,0 V/m	6,5 V/m	67 359 580
Urbain moderne dense	0,2 V/m	2,4 V/m	3,0 V/m	3,4 V/m	27,7 V/m	38 061 243
Centre ville ancien dense	0,2 V/m	1,0 V/m	2,3 V/m	4,0 V/m	30,5 V/m	17 128 230
Haute densité	0,2 V/m	1,0 V/m	2,4 V/m	4,3 V/m	15,4 V/m	3 972 820
Total	0,1 V/m	0,7 V/m	2,7 V/m	3,5 V/m	30,5 V/m	326 883 050

Figure 22 : synthèse statistique par type d'environnement des niveaux d'exposition modélisés

2.3 Mesures de l'exposition

2.3.1 Objectifs

Les mesures permettent de se confronter localement à la réalité et de compléter, confirmer, ou de rectifier le cas échéant les modélisations. Elles sont l'unique moyen de connaître l'exposition réelle en un point.

L'objectif de l'exposimétrie individuelle est de suivre l'évolution de l'exposition d'un individu au cours de la journée.

Les mesures géoréférencées permettent d'avoir une cartographie de l'exposition au sol dans la zone d'expérimentation et ainsi de valider les simulations au sol.

2.3.2 Appareils de mesure

Un mesureur de champ ou champmètre (Figure 23) enregistre une seule valeur pour l'ensemble des émissions à toutes les fréquences ; il est pour cela dit « large bande ». Il permet de déterminer le point où va se dérouler une mesure plus détaillée, service par service (radio FM, téléphonie...) ou même fréquence par fréquence, avec un appareil appelé « analyseur de spectre ».

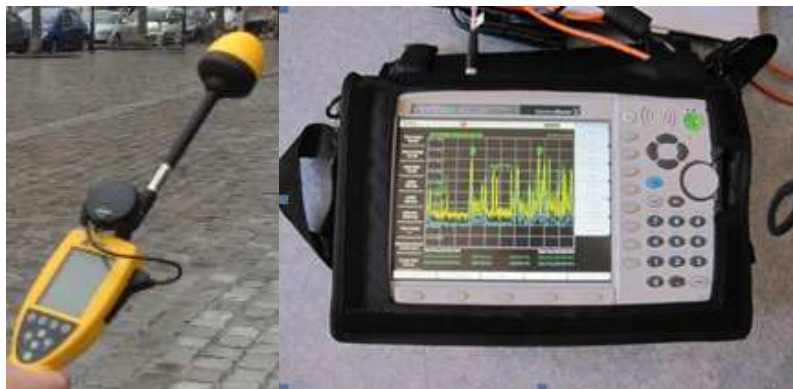


Figure 23 : champmètre (à gauche) et analyseur de spectre (à droite)

Un troisième appareil permet de compléter ces mesures, il s'agit d'un appareil intermédiaire, peu encombrant et fonctionnant sur batterie, qui permet d'obtenir une mesure pour les principaux services. Cet appareil qui permet de mesurer les expositions est appelé « exposimètre ».



Figure 24 : exposimètre

La limite de prise en compte des niveaux d'exposition est usuellement de 0.05 V/m voire 0.005 V/m ou moins dans le cas de traitement statistique.

Le seuil de sensibilité des sondes large bande (100 kHz – 6 GHz) est plus élevé (environ 0.4 V/m) du fait de l'intégration du bruit sur une large bande : en dessous de cette valeur les mesures fournies par ces appareils ne sont à considérer qu'à titre indicatif.

2.3.3 Résultats

2.3.3.1 Points les Plus Exposés (PPE)

Le PPE est défini par une zone potentiellement « lieu de vie ou de travail » présentant une exposition élevée aux antennes relais par rapport à ce qui est constaté par ailleurs sur la

zone d'expérimentation, et qui fait l'objet d'une analyse particulière dans le cadre de l'expérimentation.

L'identification des zones où le niveau est relativement plus élevé est effectuée à l'aide des modélisations numériques du CSTB. Les lieux de mesures sont déterminés ensuite, avec l'aide des municipalités, en fonction du volontariat des occupants des locaux et de leur disponibilité. Dans certaines zones identifiées par les modélisations, il s'est avéré impossible d'effectuer les mesures car, en dépit des démarches des mairies et de l'INERIS, des occupants n'ont pas souhaité participer aux travaux techniques du COMOP, puis du COPIC.

Une fois la zone identifiée, le PPE correspond au niveau le plus élevé. Il prend en compte l'ensemble des stations radioélectriques permanentes (téléphonie mobile, radiodiffusion FM...).

Les mesures sont effectuées principalement à l'intérieur avec la fenêtre fermée. Des mesures complémentaires sont effectuées sur les balcons (le cas échéant) et fenêtre ouverte.

Les niveaux mesurés pour la téléphonie mobile pour les PPE sont ensuite extrapolés à puissance maximale des émetteurs et sont donc directement comparables à une simulation qui est effectuée avec la même hypothèse.

Les niveaux de champ pour les points les plus exposés sont présentés sur les planches ci-après.

Il s'est avéré après vérification sur le terrain que certains des points, identifiés par la modélisation comme PPE, ne sont pas, en réalité, parmi les points les plus exposés du fait d'une spécificité locale du bâti (par exemple, façade « aveugle » ou sans ouverture).

Globalement on observe une corrélation entre le niveau des points les plus exposés et la densité de population sans que cela ne soit une règle absolue.

Une synthèse des résultats est donnée par la figure suivante où sont représentées la médiane (elle représente le niveau au centre de la distribution des valeurs mesurées, il y a autant de valeurs au-dessous qu'au-dessus de la médiane), les valeurs minimales et maximales ainsi que les quartiles à 25 % et 75 % (valeurs à 25 % et à 75 % de la distribution, c'est-à-dire pour lesquelles 25% des points sont exposés à une valeur inférieure à la valeur à 25% et 75% des points sont exposés à une valeur inférieure à la valeur à 75%):

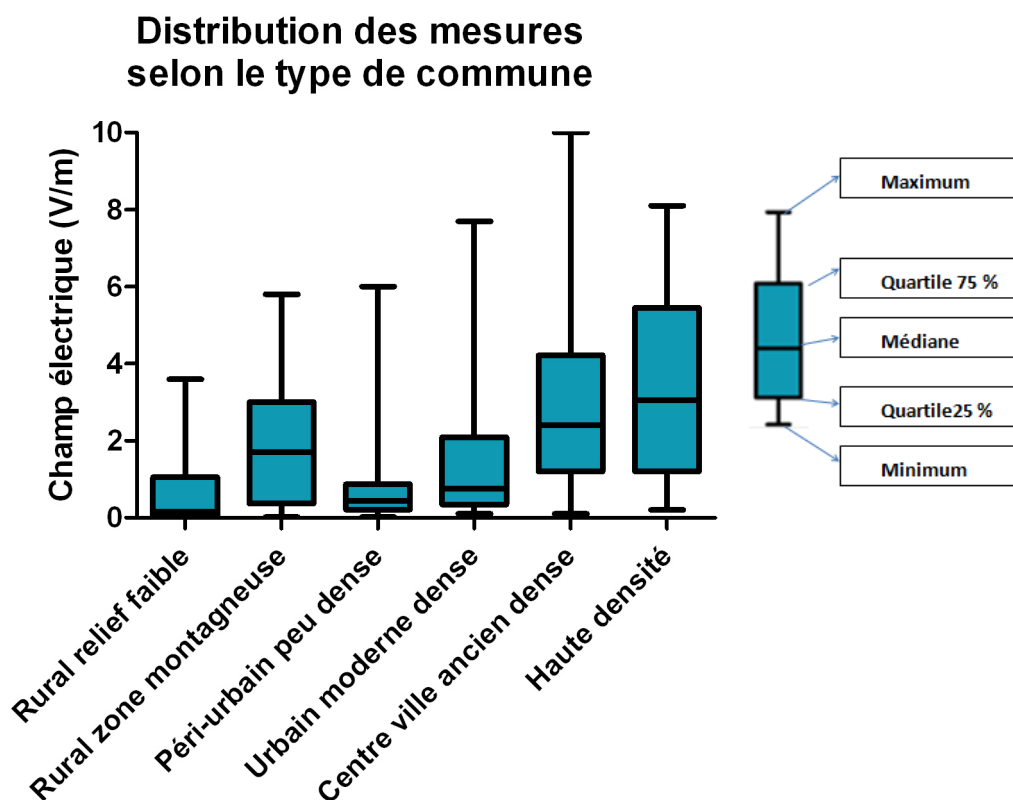


Figure 25 : distribution statistique des mesures selon le type d'environnement

Le point le plus exposé est le PPE 3 de Cannes sur une terrasse à environ 50° de la direction principale du faisceau et en vue directe d'une station de radiotéléphonie mobile positionnée sur une façade dans une ruelle étroite.

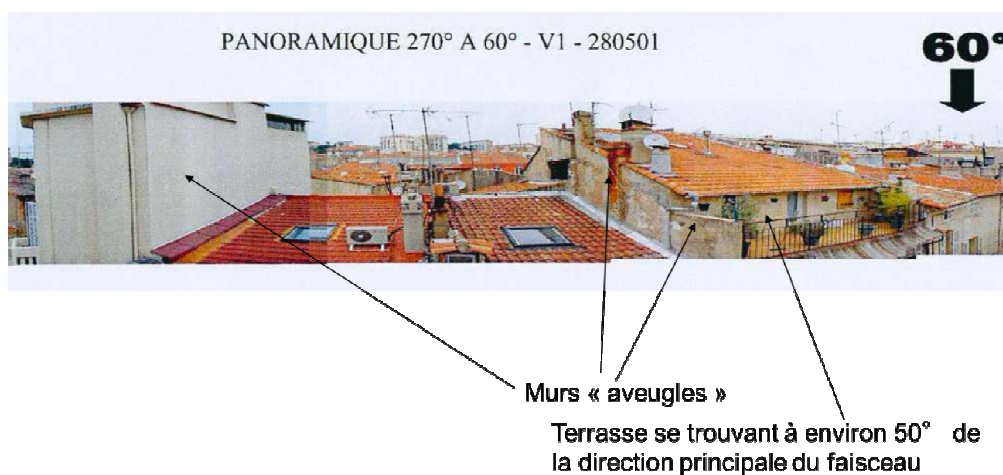


Figure 26 : situation PPE 3 - Cannes



Figure 27 : antenne sur le mur en face de la terrasse PPE 3 - Cannes

2.3.3.2 Mesures géoréférencées

Pour les mesures géoréférencées, un exposimètre et un champmètre sont fixés à l'arrière d'un véhicule sur un support non métallique (cf figure 28). Les mesures sont couplées à un GPS pour indiquer leur emplacement. Les mesures sont effectuées toutes les 4 secondes. Le véhicule se déplace à vitesse lente pour limiter l'espacement entre deux mesures consécutives (moins de 20 m en-dessous de 18 km/h).



Figure 28 : dispositif d'enregistrement des mesures géoréférencées (support non métallique)

Les mesures géoréférencées sont effectuées à une hauteur de 1,50 m du sol en roulant sur un parcours défini dans la zone d'expérimentation.

Les niveaux sont souvent inférieurs à 0,5 V/m. Les maxima pour un parcours donné se situent entre 0,28 V/m (Kruth) et 3,15 V/m (St Denis de la Réunion).

On constate en général des valeurs de champ simulées supérieures aux mesures, expliquées par la prise en compte des puissances maximales d'émission des émetteurs dans les modélisations, alors que la mesure a lieu à un instant donné. La probabilité pour que

l'ensemble du réseau fonctionne à puissance maximale à cet instant est faible. Une autre raison de cette différence est un effet de masquage de la végétation qui n'est pas pris en compte dans le modèle numérique.

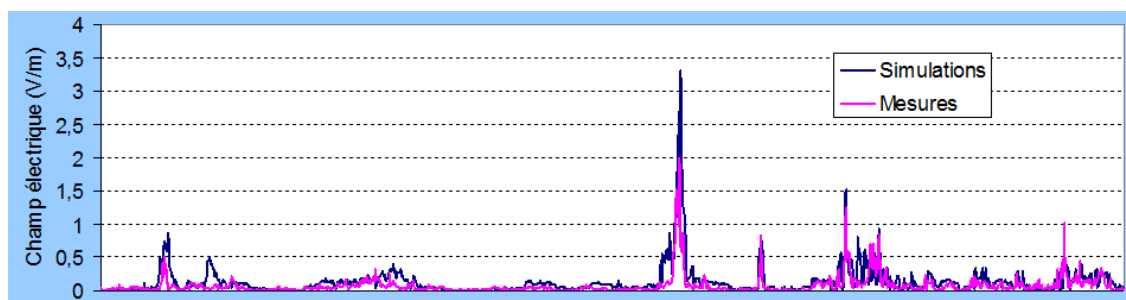


Figure 29 : mesures en roulant - Thiers

2.3.3.3 Variations temporelles

Elles permettent de connaître l'évolution du niveau réel d'exposition dans une journée pour la téléphonie mobile à l'emplacement du point le plus exposé.

Des courbes sont établies à partir des valeurs mesurées pour montrer pour chaque bande de radiotéléphonie et pour leur niveau agrégé :

- les résultats bruts,
- les résultats avec moyennage sur 6 minutes (conformément à la réglementation),
- et les résultats avec moyennage par tranche horaire.

Elles permettent en outre d'améliorer la connaissance de l'exposition individuelle aux ondes radioélectriques avec une approche statistique.

Pour la téléphonie mobile, avec les technologies actuellement déployées et les usages actuels, le niveau réel mesuré dans la journée conformément à la méthodologie de cette étude, et ceci quelle que soit l'heure, est en général proche de celui que l'on constaterait en faisant des mesures en continu moyennées sur six minutes : l'amplitude des variations dans la journée est en général faible, inférieure à 30%. Le résultat du calcul d'extrapolation (avec des coefficients d'extrapolation réels dans la méthodologie du COMOP puis du COPIC ou avec des coefficients forfaitaires dans le protocole ANFR DR15-3) est assez fortement majorant par rapport à ce maximum « réaliste » : l'écart peut atteindre 100%, soit un coefficient 2.

Il montre que le niveau maximum réel constaté est toujours inférieur au niveau maximum théorique, même lorsque le calcul de ce niveau maximum théorique est fait avec les coefficients d'extrapolation réels. L'écart global est de l'ordre de 50%. L'utilisation dans le protocole de coefficients forfaitaires et non des coefficients réels majore statistiquement encore cet écart : avec les forfaits retenus, le calcul d'extrapolation conduit en moyenne à un résultat 40% supérieur à celui d'un calcul basé sur des coefficients réels. Ces deux écarts se combinent : l'écart moyen résultant est voisin de 100% (soit un facteur 2).

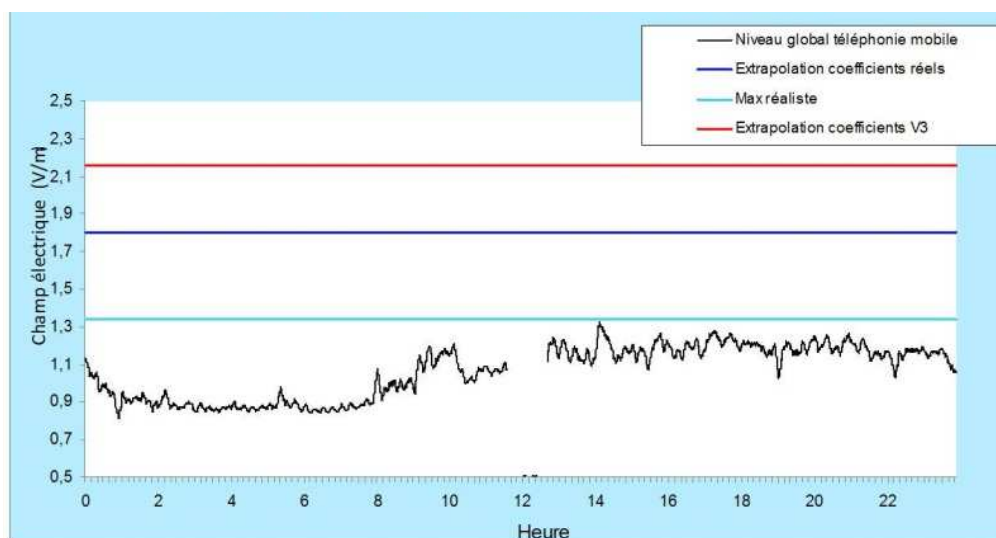


Figure 30 : mesures de la variation temporelle sur 24h – PPE 7 - Cannes

Le schéma présente des mesures réalisées en continu sur 24 heures en 2011 à Cannes dans le cadre des travaux du COMOP illustrant ces chiffres.

2.3.3.4 Mesures dans différentes pièces avec l'exposimètre

Les mesures extrapolées à l'analyseur de spectre ont été effectuées à l'endroit de champ maximum détecté avec le champmètre. Dans environ 80% des cas, cela correspond à l'exposition maximale aux champs des antennes de téléphonie mobile, et le reste du temps, cela peut correspondre à un téléphone sans fil ou à sa base, à de la radio FM à proximité, à du WiFi ou à des téléphones portables à proximité.

Des mesures ont été effectuées dans les différentes pièces des lieux de mesure. Il y avait en moyenne 4 à 5 pièces par habitation ou lieu de vie, pour un total de 601 mesures. L'exposition dans les différentes pièces de l'habitation ou du lieu de travail est 2 à 3 fois moins élevée que l'exposition au point précis où l'exposition est maximale, selon que l'on considère seulement les antennes de téléphonie mobile (2,3 fois moins élevée en moyenne), ou toutes les sources radiofréquences (3,3 fois moins élevée en moyenne).

2.3.3.5 Exposimétrie individuelle

L'incertitude élevée de chaque mesure individuelle compte tenu des interactions variables entre l'appareil et le corps ou l'environnement permet uniquement un traitement statistique des résultats.

Les mesures ont concerné 36 personnes différentes réparties dans les différentes zones d'expérimentation des 16 villes pilotes, pour lesquelles un PPE (point plus exposé) avait

été identifié à leur domicile. Les mesures ont duré 24 heures ou une semaine, selon les individus.

Un exemple de représentation est illustré ci-dessous :

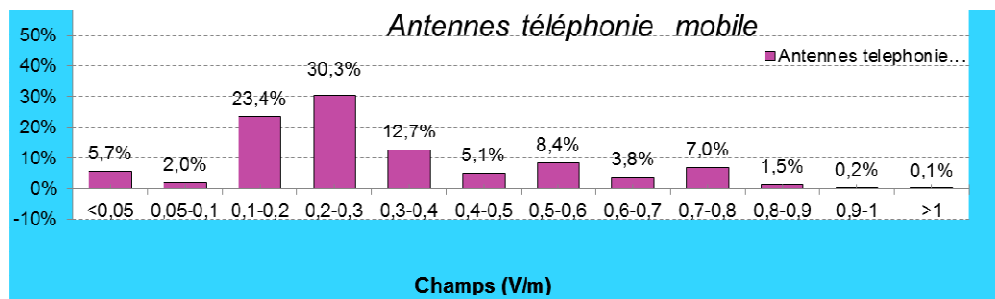


Figure 31 : histogramme des mesures d'exposimétrie individuelle sur 1 semaine (antennes relais)

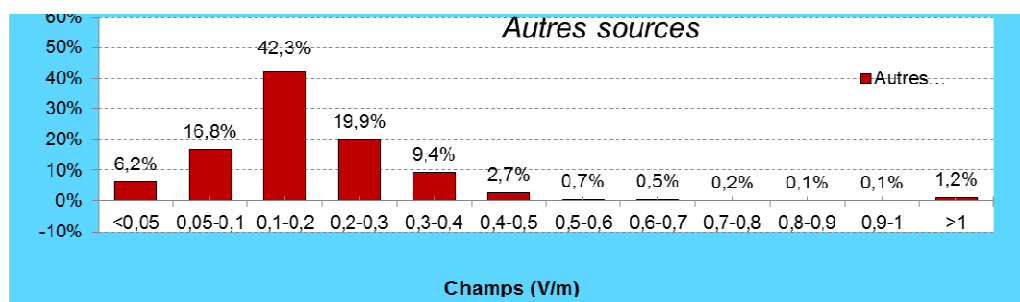


Figure 32 : histogramme des mesures d'exposimétrie individuelle sur 1 semaine (autres sources)

La corrélation entre le niveau d'exposition sur un PPE et l'exposition individuelle au niveau statistique n'a pas été observée.

Cet aspect statistique est complexe comme le montre l'exemple ci-dessous où on observe une grande disparité des résultats selon la pièce considérée.

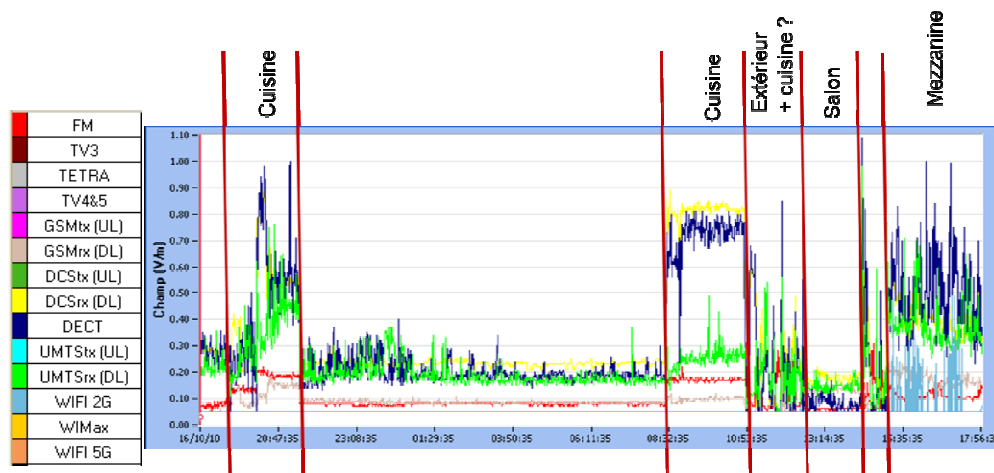


Figure 33 : mesures d'exposimétrie individuelle mettant en évidence les variations spatiales

A noter, en intérieur, que des contributeurs significatifs comme le DECT (téléphone sans fil fixe) et le WiFi sont souvent présents.

Pendant 99% du temps, le niveau maximal d'exposition des personnes volontaires, résidant dans un PPE, ne dépasse pas 0,2-0,3 V/m dans les communes rurales de relief faible et en zone montagneuse, 0,5 à 1 V/m dans les communes périurbaines peu denses et urbaines modernes denses, et 1 à 2 V/m dans les centres villes anciens denses et la zone de haute densité. En comparaison, pendant 99% du temps, le niveau maximal d'exposition de ces personnes aux autres sources d'ondes radio (radiodiffusion FM...) ne dépasse pas 2 V/m dans les zones rurales, périurbaines peu denses et modernes denses, et 3 V/m dans les centres villes anciens denses et la zone haute densité.

Concernant les antennes relais, les niveaux maximaux mesurés sont inférieurs à 0,8 V/m dans les zones rurales (relief faible ou zone montagneuse), à 2,5 V/m dans les communes périurbaines peu denses, et inférieurs à 4 V/m dans les communes urbaines modernes denses, les centres villes anciens denses et les communes de haute densité.

Pour les sources radio autres que celles issues des antennes de téléphonie mobile, 99% des expositions individuelles sont inférieures à 2 V/m dans les communes rurales à relief faible, dans les communes rurales en zone montagneuse, dans les communes périurbaines peu denses, et, à une exception près, dans les communes urbaines modernes denses (un point 99% à 6 V/m). Elles sont inférieures à 3 V/m dans les centres villes anciens denses et les communes de haute densité étudiées dans le cadre du COMOP/COPIC.

Quelques valeurs maximales isolées sont inférieures à ou de l'ordre de 6 V/m dans les communes rurales à relief faible ou en zone montagneuse, dans les communes péri-urbaines peu denses et les communes urbaines modernes denses (2 points à 6,01 et 6,18), à l'exception d'un point à 8 V/m dans une commune rurale en zone montagneuse. Quelques valeurs maximum (10,1 V/m = saturation de l'exposimètre) ont été atteintes dans les centres villes anciens denses et la commune de haute densité: il s'agit dans les deux cas d'expositions à un téléphone sans fil (DECT).

2.3.4 Comparaison avec les modélisations

La comparaison des valeurs entre mesure et simulation aux Points les Plus Exposés a conduit au constat suivant :

- 40 % des niveaux de champ des PPE mesurés sont proches des valeurs simulées (entre moitié et le double de la valeur simulée ; 6 dB).
- 20% des PPE mesurés ont des niveaux de champ plus de trois fois inférieurs à ceux de la simulation.
- Les 40 % des points restants mesurés présentent des différences allant du tiers de la valeur simulée à 3 fois cette valeur.

Pour les points les plus exposés on observe ainsi une cohérence satisfaisante entre mesure et simulation dans 40 % des cas.

Y compris dans les configurations à l'origine des points les plus exposés et pour lesquelles les incertitudes (de mesure et de simulation) sont les plus faibles, une bonne qualité des comparaisons repose sur la connaissance parfaite de l'environnement radioélectrique et du bâti, pour lequel des différences par rapport à la réalité ont été à l'origine des principales difficultés lors des travaux du COMOP puis du COPIC.

Sans que cela ne soit une loi stricte, les niveaux mesurés à l'intérieur des bâtiments sont souvent plus faibles, principalement en raison du fait que la modélisation est réalisée en extérieur et ne tient donc pas compte des pertes de pénétration dans le bâti.

Cette phase de mesure corrélée à la modélisation numérique a permis de mettre en lumière la bonne complémentarité entre les deux approches. La modélisation numérique donne une indication globale sur l'exposition à l'échelle d'un quartier à partir de calculs sur des millions de points. Elle est, en revanche, un reflet parfois imparfait de la réalité lorsqu'on s'intéresse à l'exposition en un point très précis. Les rapprochements avec les mesures aux PPE ont montré, en effet, des écarts substantiels à plusieurs reprises. La visite sur site pour la campagne de mesure permet d'orienter le choix de la zone d'intérêt par rapport à la réalité sur le terrain.

Par exemple les zones identifiées peuvent être des façades aveugles sans ouverture, des zones non habitées (greniers, édicule...) ou des zones n'existant simplement pas sur le terrain (erreur de hauteur ou imprécision du modèle numérique).

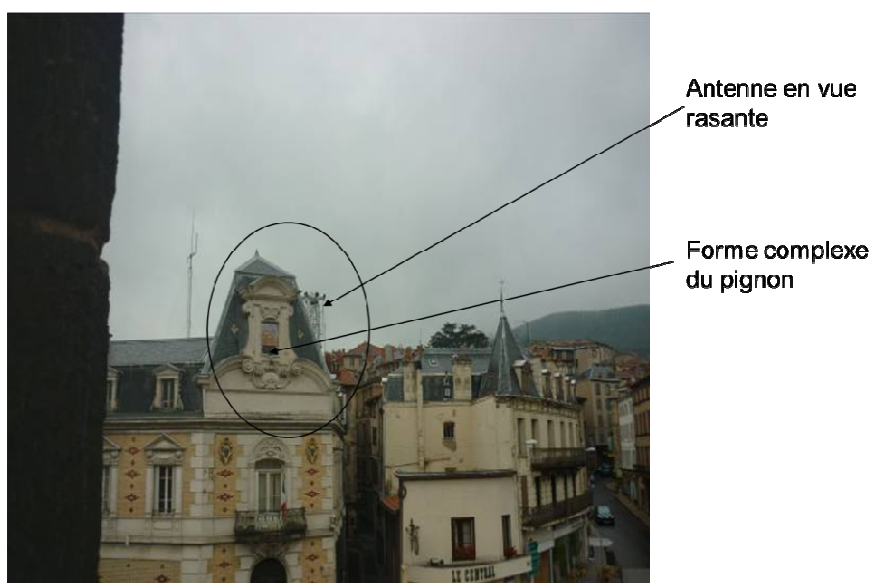


Figure 34 : exemple de situation où la complexité du bâti est difficile à modéliser

Ces particularités ont justifié, après retour d'expérience de la première série de mesures, d'aller sur le terrain vérifier les situations d'exposition identifiées par la modélisation avant confirmation des lieux de mesure de l'exposition.

On peut noter que, lors d'une comparaison, il est important de tenir compte des incertitudes de mesure et de modélisation pour vérifier une cohérence entre deux résultats.

2.3.5 Conclusions

Globalement, les expositions dans les communes rurales sont plus faibles que dans les communes de forte densité. Les niveaux sont néanmoins très variables, et dépendent visiblement du découpage du relief et de l'urbanisme. Les mesures sont habituellement plus faibles que la modélisation, car les champs sont atténués par les murs des habitations, mais il peut aussi arriver que des obstacles aux ondes radio qui apparaissent dans les modèles de bâti n'existent en fait pas dans la réalité ; dans ce cas, le niveau mesuré peut être plus élevé que celui indiqué par la modélisation.

Les mesures avec le champmètre sont en moyenne équivalentes à la sommation des mesures effectuées avec l'analyseur de spectre, à 30% près.

Sur la base des données nationales, les valeurs extrapolées pour la téléphonie mobile sont en moyenne 2 fois plus élevées que l'exposition réellement mesurée (3,6 fois dans le cadre de ces travaux).

L'ouverture des fenêtres modifie très peu le niveau de champ électrique (+10%) à proximité de la fenêtre à l'intérieur de l'habitation. Le niveau mesuré à l'intérieur est, en moyenne, 30% inférieur au niveau mesuré à l'extérieur sur un balcon ou une terrasse, sauf par exemple quand le faisceau est parallèle à la façade du bâtiment et ne pénètre que peu ou pas du tout dans les pièces. Les mesures du lieu le plus exposé de l'habitation sont 2 à 3 fois supérieures à l'exposition moyenne des pièces de cette habitation, faisant ainsi apparaître une forte variabilité spatiale.

Les mesures temporelles effectuées sur les différentes communes ont montré une variation de l'exposition dans la journée ou la semaine, de 10h à 20h, en général inférieure à 30%. Les résultats des mesures sont donc peu dépendants de l'heure ou du trafic.

Les différentes mesures effectuées montrent que le niveau maximum réel mesuré est toujours inférieur au niveau maximum théorique, même lorsque le calcul de ce niveau maximum théorique est fait avec les coefficients d'extrapolation réels. L'écart global est de l'ordre de 50%. L'utilisation dans le protocole de mesure ANFR de coefficients forfaitaires - et non des coefficients réels - pour l'extrapolation majore statistiquement encore cet écart : avec les forfaits retenus, le calcul d'extrapolation conduit en moyenne à un résultat 40% supérieur à celui d'un calcul basé sur des coefficients réels. Ces deux écarts se combinent : le niveau maximum mesuré sur une journée est deux fois plus faible que le maximum théorique extrapolé à partir des coefficients forfaitaires du protocole.

Pendant 99% du temps, le niveau maximal d'exposition des personnes volontaires, résidant dans un PPE, pour la radiotéléphonie mobile ne dépasse pas 0,2-0,3 V/m dans les communes rurales de relief faible et en zone montagneuse, 0,5 à 1 V/m dans les communes péri-urbaines peu denses et urbaines modernes denses, et 1 à 2 V/m dans les centres villes anciens denses et la zone de haute densité. En comparaison, pendant 99% du temps, le niveau maximal d'exposition de ces personnes aux autres sources d'ondes radioélectrique (radio FM...) ne dépasse pas 2 V/m dans les zones rurales, péri-urbaines peu denses et modernes denses, et 3 V/m dans les centres villes anciens denses et la zone haute densité.

Une comparaison entre les mesures prises au lieu d'exposition maximale et l'exposition individuelle sur 24h ou une semaine montre que peu de personnes sont exposées plus de 1% du temps à un niveau égal ou supérieur au niveau maximum mesuré à leur domicile. Par contre, le niveau maximum d'exposition des personnes pendant leur enregistrement de 24h ou une semaine est presque toujours supérieur à l'exposition maximale mesurée à leur domicile, ce qui veut dire qu'elles ont rencontré pendant leur enregistrement, des valeurs maximum supérieures à celles de l'endroit le plus exposé de leur lieu de vie.

Concernant les mesures géoréférencées, il est constaté un parallélisme satisfaisant entre les niveaux mesurés et les niveaux modélisés pour les résultats les plus élevés : là où il y a un pic de mesure, il y a un pic dans la modélisation. Les valeurs de champ calculées par modélisation sont souvent supérieures aux valeurs mesurées, en raison de l'extrapolation (les simulations sont effectuées à puissance maximale des émetteurs alors que les mesures sont effectuées sans extrapolation), d'un effet de masquage par la végétation, ...

La distribution des expositions d'une personne est globalement assez proche de la distribution des expositions mesurées lors du quadrillage des rues de la commune (mesures géoréférencées). Par contre, ces résultats montrent que le niveau de champ à l'emplacement le plus exposé du lieu de vie d'une personne n'est pas représentatif de la distribution des expositions au cours de la journée ou de la semaine.

2.4 Modélisation de la couverture

2.4.1 Objectifs

Dans le cadre des travaux du COMOP, puis du COPIC, l'objectif des modélisations de couverture est principalement d'évaluer la dégradation de couverture pendant la phase de réduction de l'exposition. Ces modélisations sont dans la suite de l'étude le point d'entrée du **chapitre 4**.

Pour chacune des 16 zones d'expérimentation, la couverture de chacun des opérateurs, telle qu'elle existait en 2010 ou 2011, a été modélisée dans chacune des technologies (2G et 3G), pour les services voix et internet et dans plusieurs situations : extérieur, intérieur après premier mur, intérieur après deuxième mur.

Les résultats détaillés sont disponibles dans l'annexe F.

2.4.2 Conclusions

Les zones d'expérimentations sont trop réduites pour tirer des enseignements généraux sur l'ensemble du territoire quant à la couverture.

Les zones couvertes en téléphonie mobile et en internet mobile varient d'un opérateur à l'autre dans une même zone d'étude. La couverture est un élément de différenciation et donc de concurrence entre les opérateurs.

Quel que soit l'environnement géographique, la couverture est meilleure pour la téléphonie (communications vocales) que pour l'internet mobile car celui-ci nécessite davantage de ressources radio, c'est-à-dire un niveau de champ plus élevé.

Quel que soit l'environnement géographique et qu'il s'agisse de téléphonie ou d'internet mobile, la disponibilité des services mobiles à l'intérieur des bâtiments est par nature moindre qu'à l'extérieur des bâtiments du fait de la pénétration des ondes à travers des matériaux comme le béton ou le métal qui affaiblit l'intensité du signal.

Pour les données 3G, il peut apparaître des phénomènes où dans une zone, une couverture réduite est associée à des débits disponibles élevés, ce qui est expliqué par l'effet des brouillages inter-cellules.

Les résultats de couverture :

- sont à considérer de manière statistique plutôt que point par point,
- ont essentiellement un intérêt pour le COPIC dans la phase de réduction de puissance pour estimer l'impact sur la couverture.

2.5 Mesures de la qualité de service

2.5.1 Objectifs

La qualité de service est distincte de la couverture : elle est directement mesurée à partir de la qualité d'une communication effective.

Ces mesures donnent accès aux performances réelles du réseau pour un utilisateur à un instant donné. Elles auraient pu s'avérer très utiles dans le cas d'une modification réelle du réseau pour vérifier ses performances.

La méthodologie employée est basée sur celle utilisée par l'ARCEP pour comparer la qualité de service des opérateurs.

Pour chaque ville, les résultats sont disponibles dans l'annexe G sous la forme de tableaux:

- Voix : taux de communications réussies / qualité parfaite / qualité correcte
- Données : taux de connexions réussies / débits montant et descendant (premier décile, dernier décile, médiane)

2.5.2 Conclusions

Les zones d'expérimentations sont trop réduites pour tirer des enseignements généraux sur l'ensemble du territoire quant à la qualité de service.

Tout comme la couverture, la qualité de service en téléphonie mobile et en internet mobile varie d'un opérateur à l'autre dans une même zone d'étude. Elle est un élément de différenciation et donc de concurrence entre les opérateurs.

Tout comme la couverture, la qualité de service peut varier selon l'environnement géographique.

Les résultats de l'état des lieux reflètent la qualité de service, telle qu'elle existait en 2010 ou 2011 pour chacun des trois opérateurs, dans les 16 zones d'expérimentations.

Les résultats sur la voix montrent :

- une bonne qualité de service voix dans l'ensemble des zones,
- des variations qui dépendent des quartiers.

Les résultats sur les données montrent :

- des taux de réussite pour l'envoi d'un fichier de 1 Mo (Méga octet) ou la réception d'un fichier de 5 Mo, qui sont plus faibles en zones rurales qu'en zones urbaines car la couverture 3G, requise pour ces deux transmissions, n'était pas identique dans toutes les communes pilotes, notamment en 2010 ou 2011.
- en téléchargement : des débits de plus de 4 Mbit/s pour les plus rapides
- envoi des fichiers : des débits de plus 1,5 Mbit/s pour les plus rapides.

Les résultats de la modélisation de la couverture des réseaux et des tests de leur qualité de service sont représentatifs de la situation en 2010 ou 2011, selon les communes pilotes. Ils constituent ainsi une référence importante pour évaluer l'impact d'une baisse de puissance sur la couverture et la qualité de service.

2.6 Conclusions générales de l'état des lieux

Les résultats en matière d'exposition apportent de nombreux enseignements.

Quel que soit le type d'environnement géographique, ces résultats montrent que l'exposition aux ondes radio émises par les antennes relais est très inférieure aux seuils réglementaires dans plus de 99,9% des cas pour les surfaces au sol et des façades de bâtiment.

La synthèse des résultats des simulations (en incluant le sol et les façades) est présentée dans le tableau ci-après par type d'environnement.

	50% (médiane)	90%	99%	99.9%	100% (Max)	Nombre de points de calcul
Rural relief faible	0,03 V/m	0,2 V/m	0,5 V/m	0,8 V/m	5,1 V/m	135 671 318
Rural zone montagneuse	0,1 V/m	0,7 V/m	2,2 V/m	4,0 V/m	6,5 V/m	64 689 859
Périurbain peu dense	0,1 V/m	0,4 V/m	1,2 V/m	2,0 V/m	6,5 V/m	67 359 580
Urbain moderne dense	0,2 V/m	2,4 V/m	3,0 V/m	3,4 V/m	27,7 V/m	38 061 243
Centre ville ancien dense	0,2 V/m	1,0 V/m	2,3 V/m	4,0 V/m	30,5 V/m	17 128 230
Haute densité	0,2 V/m	1,0 V/m	2,4 V/m	4,3 V/m	15,4 V/m	3 972 820
Total	0,1 V/m	0,7 V/m	2,7 V/m	3,5 V/m	30,5 V/m	326 883 050

Sur l'ensemble des 16 villes pilotes, environ 90% des niveaux d'exposition modélisés sont sous 0,7 V/m, et 99 % sous 2,7 V/m. La médiane est de 0,14 V/m (l'exposition est dans 50 % des cas inférieure à 0,14 V/m).

Globalement, on observe une corrélation entre le niveau des points les plus exposés et le niveau d'urbanisation d'une zone sans que cela ne soit une règle absolue. Généralement, les expositions dans les communes rurales sont plus faibles, et elles sont plus élevées dans les communes de forte densité. Les niveaux sont néanmoins très variables, et dépendent visiblement du découpage du relief et de l'urbanisme.

A l'échelle d'une zone d'expérimentation, l'exposition au sol est légèrement supérieure en moyenne à celle en façade, et, hormis pour les points les plus exposés, est un indicateur souvent majorant de l'exposition.

Toutefois, le niveau maximal d'exposition en façade peut être bien supérieur au niveau maximal d'exposition au sol. Quelques façades, proches d'une antenne et dans son faisceau principal, concentrent de manière très localisée les expositions les plus élevées.

Les mesures effectuées aux points plus exposés ont montré, pour environ 20% d'entre elles, que les principaux contributeurs à l'exposition dans ces points étaient d'autres sources que les antennes relais (bases de téléphone sans fil DECT, émetteurs radio FM à proximité, boîtiers multiservices Wifi, téléphones portables à proximité...)

Pendant plus de 99% du temps, l'exposition individuelle de la très grande majorité des personnes résidant dans une habitation avec un PPE est inférieure au niveau d'exposition mesuré au PPE de leur habitation. En revanche, le niveau maximum d'exposition des personnes pendant leur enregistrement de 24h ou une semaine est presque toujours supérieur à l'exposition maximale mesurée à leur domicile. Cela s'explique par le fait qu'elles ont été soumises à une exposition supérieure à l'extérieur de leur domicile.

Pour la téléphonie mobile, le niveau mesuré quelque soit le moment de la journée, est en général proche de celui que l'on constate en faisant des mesures en continu moyennées sur six minutes.

3 TRAITEMENT DES POINTS LES PLUS EXPOSES

Le COPIC s'intéresse à l'identification et au traitement des points les plus exposés des zones d'expérimentation qui sont révélés par les modélisations, et confirmés par les mesures.

Par ailleurs, la loi Grenelle 2 prévoit un recensement national des points atypiques (dont les niveaux d'exposition dépassent sensiblement la moyenne observée à l'échelle nationale).

Dans le cadre de ce premier recensement réalisé par l'Agence Nationale des Fréquences, le niveau de référence (qui pourra évoluer dans les années à venir) a été fixé par l'Agence à 6 V/m (large bande, intégrant toutes les contributions significatives).

Les concepts de point atypique et de point plus exposé sont donc bien distincts et seul le second fait l'objet des développements suivants.

3.1 Cadre de l'étude : contexte et méthode de travail

Les cartes d'exposition maximale à 1,5 mètre du sol et en façade réalisées par le CSTB ont permis, dans chacune des zones d'expérimentation, l'identification de « zones plus exposées » (ZPE), correspondant à des zones significativement plus exposées par rapport au niveau moyen de l'exposition modélisée sur chaque zone d'expérimentation prise séparément.

Pendant l'état des lieux (première phase des travaux) l'objectif a été de trouver, dans ces zones, 10 « points plus exposés » (PPE), à l'intérieur des bâtiments, qui ont fait l'objet de mesures de champs électromagnétiques très détaillées (mesures d'exposition de l'état des lieux).

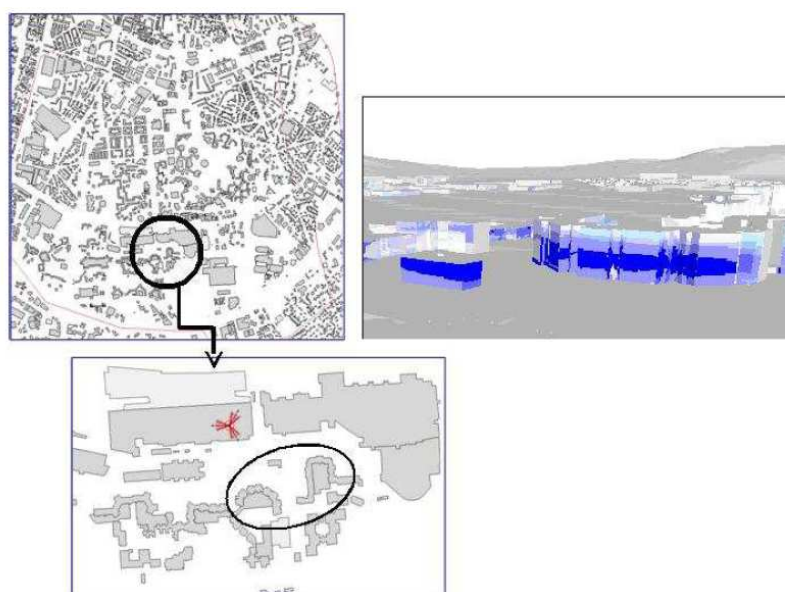


Figure 35 : exemple de cartes permettant d'identifier les ZPE et les PPE

L'objectif est de réduire l'exposition dans les points sélectionnés. Conformément au cahier des charges initial, le traitement consiste à modifier les caractéristiques et/ou l'emplacement des antennes impliquées dans la création dans chacun de ces PPE. Les simulations permettent de déterminer l'impact du traitement sur l'exposition (logement visé ainsi que son environnement). Des mesures sont effectuées avant et après traitement, avec une sonde large bande et limitées aux fréquences de la téléphonie mobile pour l'analyse détaillée, pour confirmer les résultats de ces simulations.

Il est à noter qu'il n'y a pas eu de recherche systématique du point le plus exposé par des campagnes de mesures in situ, que le positionnement du PPE par le CSTB contient une incertitude et que le travail commun réalisé par le CSTB et l'INERIS ne permet pas de garantir que le point de la mesure est le point le plus exposé.

Les mesures portent sur 2 types de locaux :

- l'appartement à l'intérieur duquel se trouve le point le plus exposé ou éventuellement les appartements situés à proximité (par exemple, lorsque l'INERIS et la mairie n'ont pas pu accéder à certains appartements où des PPE avaient été identifiés par modélisation);
- le cas échéant, lorsque le traitement est susceptible d'augmenter l'exposition au voisinage de l'appartement concerné, des appartements voisins.

Dans ces expérimentations, le CSTB vérifie la pertinence, en liaison avec l'INERIS, des lieux choisis en fonction du traitement retenu. La participation active des mairies a été essentielle pour faciliter l'accès aux appartements identifiés et pour y permettre la réalisation de mesures.

3.2 Résultats issus des simulations

128 PPE ont été identifiés lors de l'état des lieux allant entre des valeurs inférieures à 0,3 V/m et jusqu'à 10 V/m après extrapolation à puissance maximale des émetteurs. La distribution de ces PPE en fonction de la valeur maximale extrapolée mesurée est fournie dans l'histogramme ci-dessous :

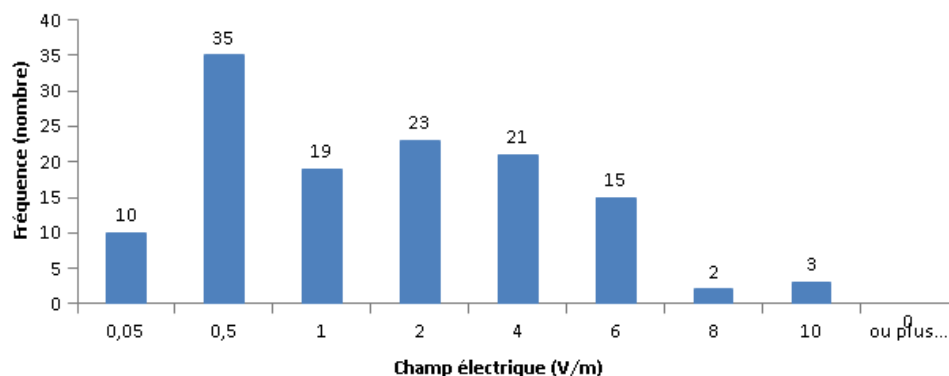


Figure 36 : répartition du nombre de PPE en fonction de leur niveau d'exposition

Parmi ces 128 PPE, 7 ont été sélectionnés parce que les niveaux mesurés y étaient parmi les plus élevés, en vue de simuler des modifications d'ingénierie (tilt, azimuth, hauteur) ou d'emplacement de nature à réduire leur exposition.

Le traitement consiste à apporter différentes modifications à l'antenne ou aux antennes concernées par le PPE qui peuvent être regroupées en 3 catégories :

- changement du tilt ou de l'azimut de l'antenne ;
- rehaussement de l'antenne ;
- déplacement de l'antenne.

Dans les solutions expérimentées il s'agit aussi, bien sûr, de conserver une couverture similaire à la couverture de l'état des lieux.

Les principaux résultats des simulations de traitement des 7 PPE sélectionnés figurent dans le tableau ci-dessous :

ZPE	Exposition initiale du PPE	Type de traitement	Nouvelle exposition du PPE	Niveau (après traitement) des autres expositions dans la ZPE
ZPE3 Courbevoie	8 V/m	Modification du tilt	3,4 V/m (-58%)	5,4 V/m sur un autre immeuble avec fenêtre athermique
ZPE4 Courbevoie	11,5 V/m	Modification de l'azimut	5,6 V/m (-51%)	NA
ZPE8 Courbevoie	10,3 V/m	Déplacement de l'antenne	5 V/m (-51%)	8,6 V/m (autre secteur + antennes hors ZE > 6 V/m)
ZPE2 Paris 14 ^{ème}	6,1 V/m	Rehaussement et modification du tilt	4 V/m (-34%)	6 V/m pour le même secteur et un bâtiment à environ 100 m (initialement 5,6 V/m)
ZPE5 Paris 14 ^{ème}	8,3 V/m	Rehaussement	5,7 V/m (-31%)	NA
ZPE7 Paris 14 ^{ème}	11,9 V/m	Modification de l'azimut	4,8 V/m (-60%)	7,3 V/m venant d'un 2 ^{ème} secteur
ZPE10 Paris 14 ^{ème}	8,3 V/m	Rehaussement et modification du tilt	6,1 V/m (-27%)	NA

Figure 37 : propositions de traitements sur plusieurs PPE - Courbevoie

Les simulations du CSTB montrent que l'exposition peut être réduite selon les points de 3 à 6 V/m par rapport à l'état des lieux, mais qu'en conséquence, elle peut augmenter dans d'autres points. Les simulations d'ATDI montrent, quant à elles, que la couverture pour les traitements retenus n'est pas affectée ou à la marge (l'impact pouvant être positif ou négatif).

Les différentes solutions techniques possibles pour réduire l'exposition en un point ont, chacune, des impacts différents sur la couverture. Le choix d'une solution dépend bien sûr de sa faisabilité (technique, réglementaire, accord du propriétaire...), mais aussi de son impact sur la couverture. Le tableau suivant permet d'illustrer cela à partir d'un PPE de Courbevoie où plusieurs solutions techniques ont été simulées et où le réazimutage apparaît comme la solution la plus pertinente.

	E calculé (Estimation)	Amélioration exposimétrie	Dégradation de la couverture
E Initial (simu CSTB)	10.3V/m		
Baisse de puissance de -3dB (E = -30%)	7.2V/m	++	--
Hausse de tilt électrique au max (0 sur toute les bandes vs 8 / 6)	10.3V/m	=	-
Baisse de puissance de -6dB (E = -50%)	5.15V/m	+++	----
Réazimutage (+30)	7.2V/m	++	--
Baisse de -3dB & réazimutage de +30	5V/m	+++	--

Figure 38 : analyse avantage/inconvénient de différentes possibilités de traitement d'un PPE - Courbevoie

3.3 Résultats issus des expérimentations

Le COPIC a sélectionné 3 points (un par opérateur) parmi 128 présentant les niveaux de champ modélisés parmi les plus élevés de l'ensemble des 16 zones d'expérimentation. Ces PPE sont générés par les émetteurs suivants :

- antenne Orange pour le site 121 rue d'Alésia (Paris 14^{ème})
- antenne Bouygues, rue Rouget de l'Isle (Courbevoie)
- antenne SFR pour le site Cheminée de Moretti, place de l'Iris (Courbevoie)

Seul le premier point (antenne Orange) a fait l'objet d'une expérimentation complète. En effet, les deux autres points n'ont finalement pas été traités car l'exposition élevée mesurée ou modélisée lors de l'état des lieux fin 2010 et début 2011 n'a pu être confirmée par des mesures fin 2012 et début 2013. Les autres PPE n'ont quant à eux pas été traités car leur niveau d'exposition ne justifiait pas une intervention de ce type.

Le premier cas (antenne Bouygues) illustre la complexité du sujet car les réseaux de téléphonie mobile évoluent dans le temps, ce qui conduit à des modifications de l'exposition. Le second cas (antenne SFR) s'explique par la pose de nouveaux vitrages entre les mesures effectuées début 2011 et celles effectuées début 2013. Composés d'une fine couche d'oxyde métallique en surface d'une des faces du double-vitrage, ils ont pour propriété d'atténuer de façon importante le rayonnement radiofréquence dans les bandes de la téléphonie mobile.

Les mesures à la sonde large bande réalisées dans l'appartement après la pose de ce vitrage indiquent environ 3,4 V/m. L'exposition a ainsi diminué par rapport au niveau mesuré pendant l'état des lieux. De plus, dans cet immeuble, les fenêtres ne peuvent s'ouvrir complètement, ce qui limite la pénétration des ondes radio dans l'appartement, y compris lorsque les fenêtres sont entre ouvertes.

3.3.1 Traitement du PPE de l'antenne Orange

Le PPE concerné (PPE9) a été identifié dans le quartier du Moulin Vert, en face de l'antenne Orange (située au 121 rue d'Alésia), voir figure 39.

Il a été proposé un déplacement et une réorientation de l'antenne pour éviter d'augmenter l'exposition dans les appartements voisins.

Les simulations ont indiqué que cette modification générerait une exposition plus importante qu'actuellement en certains points sur plusieurs immeubles situés sur une voie adjacente (côté pair de la rue des Plantes).

Lors de ce traitement, on s'est attaché à contrôler la baisse de l'exposition du PPE ainsi que l'augmentation, le cas échéant, de l'exposition des points qui se retrouvent plus exposés après la modification. Pour ce faire, des mesures avant/après ont été réalisées sur l'ensemble de ces points.

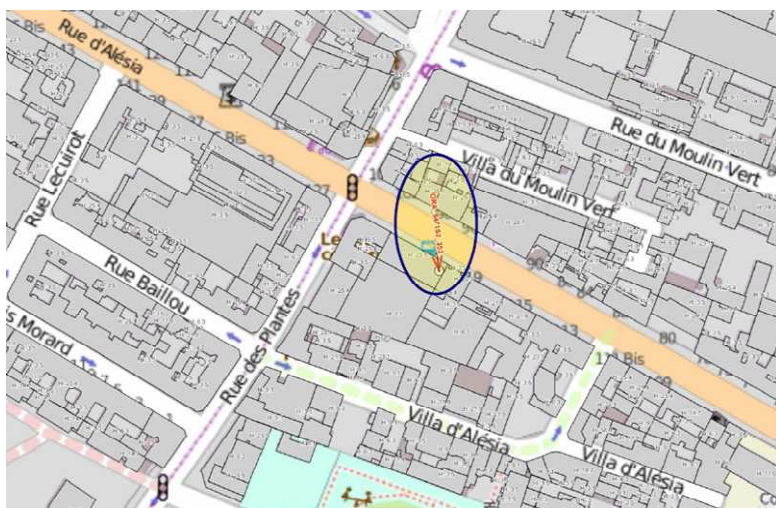


Figure 39 : présentation de l'emplacement du site avant modification - 121 rue d'Alésia Paris 14^{ème}

Trois points de mesure ont été étudiés dans le cadre de cette reconfiguration : A, B et D (voir figure 41).

3.3.2 Mesures avant modification

Une série de mesure a été réalisée avant intervention sur l'émetteur afin de s'assurer de la justesse de la modélisation.

La modélisation indique que le point le plus exposé avant modification est le B.

En dépit de plusieurs démarches de l'INERIS et de la Mairie du 14^{ème} arrondissement, l'occupant de l'appartement au 7^{ème} étage n'a pas accepté la réalisation de mesures chez lui.

Des mesures ont été effectuées dans l'appartement en-dessous, au 6ème étage (ci-après point B). Le niveau d'exposition dans cet appartement était de 3,4 V/m (champmètre).

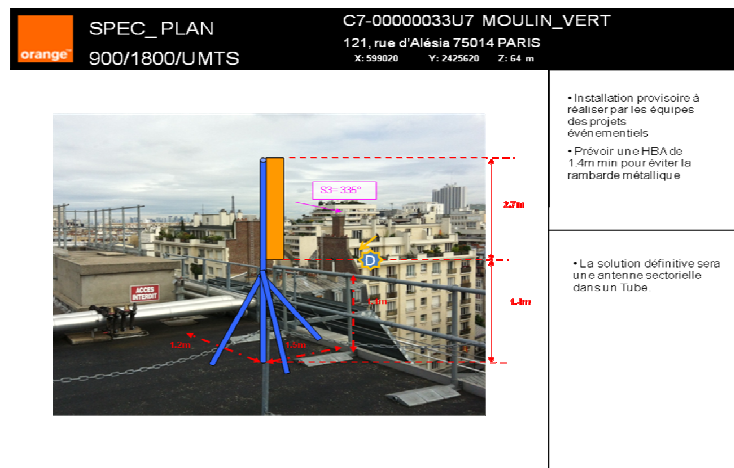
Deux immeubles ont été retenus en priorité pour vérifier les modifications de l'exposition : l'un rue des Plantes, 8^{ème} étage (A) ; l'autre, au 9^{ème} étage, sur la façade qui donne sur la rue des Plantes, rue d'Alésia (D).

Avant le déplacement de l'antenne, le niveau d'exposition de l'appartement A était de 1,3 V/m et celui de l'appartement D de 0,6 V/m. Les points dont l'exposition a augmenté après modification, sans pour autant atteindre le niveau du PPE précédent, sont A et D.

Pour mener à bien cette expérimentation, un travail conséquent de vérification de la cohérence de l'exposition sur le terrain avec la modélisation a dû être réalisé afin de rectifier quelques erreurs sur le bâti.

3.3.3 Modification envisagée et modélisation de l'exposition après la modification

Il a été proposé un déplacement et une réorientation de l'antenne pour éviter d'exposer à proximité les appartements de l'autre côté de la rue. Les caractéristiques techniques liées à cette intervention sont données dans la figure 40. D'autre part, une modélisation de l'exposition après modification a servi de base de travail.



3.3.4 Mesures après modification

Après modification de la configuration, le champ dans l'appartement « volontaire » B le plus exposé était de 0,7 V/m.

Dans l'appartement A, dont l'exposition varie peu d'après la simulation, le niveau était de 3,0 V/m.

Dans l'appartement D, dont l'exposition varie davantage d'après la simulation, le niveau maximum était de 2,3 V/m (avec le dosimètre).

(voir figures 41 et 42)

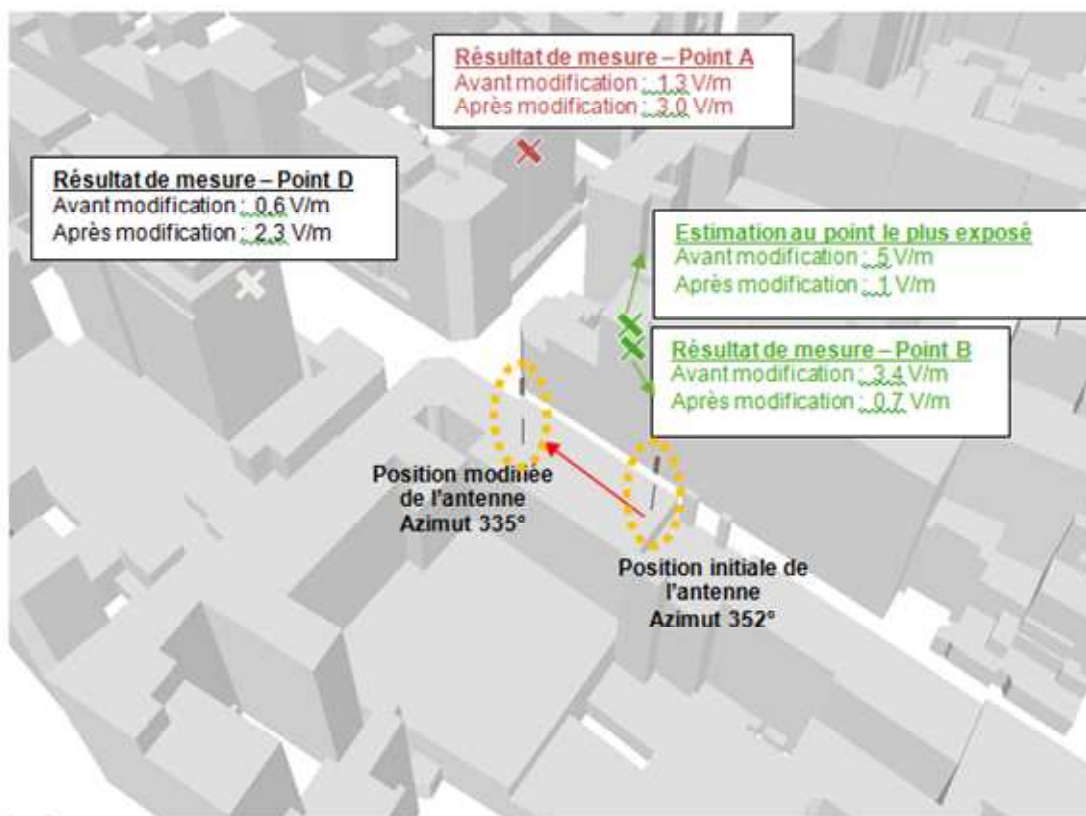


Figure 41 : impact du traitement du PPE sur l'exposition des différents points de mesure – Paris 14^{ème}

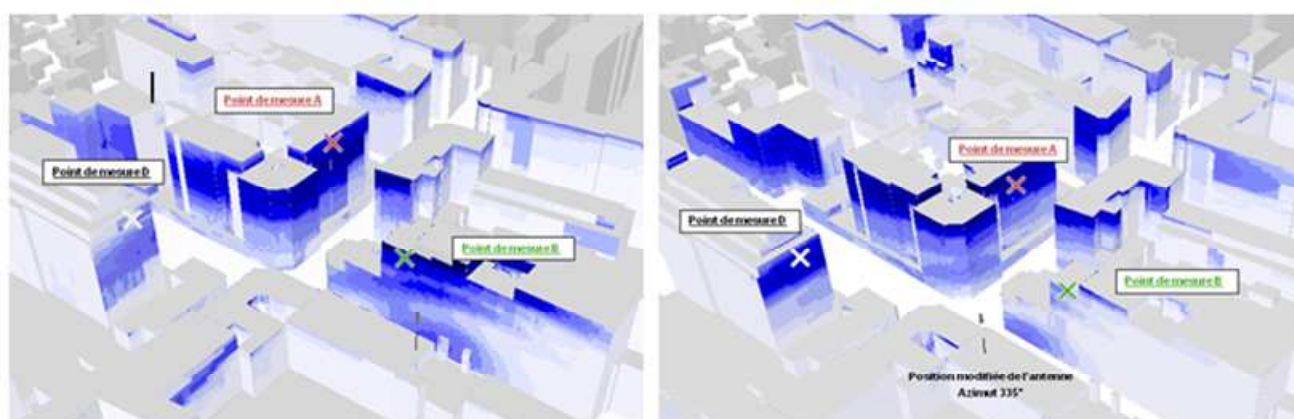


Figure 42 : impact du traitement du PPE sur la répartition spatiale de l'exposition – Paris 14^{ème}

La synthèse des résultats de mesures obtenus est donnée par la figure 43.

* Les antennes UMTS n'ont pas été détectées lors du 1 ^{er} passage en 9A et 9B	100 Alesia 1 (9B)	100 Alesia 2 (9B)	Ratio après/avant	36 Plantes 1 (9A)	36 Plantes 2 (9A)	Ratio après/avant	135 Alesia 1 (9D)	135 Alesia 2 (9D)	Ratio après/avant
GSM 900	7,0	2,1	0,30	2,1	7,6	3,6	1,5	9,6	6,4
GSM 1800	1,1	1,1	1,0	1,7	1,7	1,0	0,6	1,6	2,7
UMTS	*	0,11		*	1,8		0,13	1,0	7,7
Cumul Antennes	7,1	2,3	0,32	2,7	8,0	3,0	1,6	9,8	6,1
Champmètre	3,4	0,7	0,21	1,3	3,0	2,3	0,6		-
GSM 900	2,8	0,38	0,14	0,7	0,9	1,3	0,4	1,9	4,8
GSM 1800	2,4	0,60	0,25	0,8	1,2	1,5	0,4	0,9	2,3
UMTS	0,4	0,26	0,65	0,5	2,2	4,4	0,3	1	3,3
Cumul Antennes	3,7	0,75	0,20	1,1	2,7	2,5	0,6	2,3	3,8

Figure 43 : synthèse des résultats de mesures avant/après

3.3.5 Conclusion pour ce PPE

Il existait peut-être des emplacements qui auraient évité en premier lieu la création du PPE. Afin qu'aucun appartement ne soit exposé aux niveaux mentionnés dans l'étude il aurait a priori fallu que cette antenne puisse être située sur le bâtiment le plus élevé du secteur, qui est celui abritant le point D. Cependant, cette solution n'avait probablement pas pu être mise en œuvre lors de l'implantation de l'antenne.

3.4 Conclusions

Il est possible de réduire l'exposition sur les PPE par des traitements relativement légers (modification des caractéristiques de l'antenne, déplacement limité de celle-ci...) et les simulations ont permis de vérifier que ces traitements n'entraînaient pas de dégradation de la couverture.

Il ressort également de ces travaux que l'essentiel de l'exposition était généré par une seule antenne. Cependant l'ANFR a identifié un contre-exemple dans le cadre du recensement des points atypiques.

De plus, des configurations favorisant une exposition plus élevée ont été mises en évidence et présentent les caractéristiques suivantes :

- immeuble faisant face à l'antenne (hors incidence rasante) à une distance réduite ;
- faisceau principal de l'antenne interceptant l'immeuble.

Néanmoins il convient de nuancer l'efficacité de ce type de traitement qui implique parfois une augmentation de l'exposition en d'autres points situés à proximité du PPE. Il est donc pertinent de vérifier au cas par cas l'intérêt d'un tel traitement qui implique un étalement de l'exposition. Par ailleurs, d'autres difficultés sont apparues telles que le problème d'accès aux logements ou encore la maîtrise de la modification de l'environnement radioélectrique (évolution du bâti et des réseaux mobiles) au cours du temps.

4 SIMULATIONS ET EXPERIMENTATIONS TERRAIN D'ABAISSEMENT DE PUISSANCE DES ANTENNES RELAIS, SIMULATIONS DE RECONFIGURATION

4.1 Cadre de l'étude : méthodologie, protocoles, incertitudes

L'étude se déroule en trois étapes :

1. Simulation de diminution de puissance des émetteurs des antennes relais
2. Expérimentation terrain de diminution de puissance des émetteurs des antennes relais
3. Simulation de reconfiguration des réseaux

La simulation de diminution de puissance est effectuée pour chacune des 16 villes pilotes avec des scénarii de réduction de puissance définis par le COPIC.

Le scénario commun à toutes les villes est une réduction de l'exposition à 0,6 V/m (à puissance maximale des émetteurs) avec deux autres valeurs testées : 1 V/m pour Paris 14^{ème} et 1,5 V/m pour Plaine-Commune. Cela signifie qu'en aucun point, tant au sol qu'en façade, le niveau d'exposition ne doit dépasser la valeur cible.

La valeur de 0,6 V/m a été étudiée de façon privilégiée par le COMOP puis le COPIC conformément à la volonté d'une majorité des parties prenantes.

Pour atteindre l'objectif de 0,6 V/m, les deux étapes suivantes, expérimentation terrain et reconfiguration réseau, n'ont été réalisées, pour des raisons à la fois techniques et financières, que sur les 7 villes pilotes illustrant les différents types d'environnement géographiques.

4.1.1 Simulation de diminution de puissance des antennes relais

Chaque scénario, déduit des niveaux d'exposition maximum visés, se traduit par un calcul des coefficients de réduction de la puissance à appliquer aux émetteurs des antennes relais selon leur niveau de contribution à l'exposition. Cette première phase est effectuée par le CSTB et prend en compte toutes les antennes de la zone d'impact (la zone d'impact englobe les antennes relais de la zone d'expérimentation ainsi que celles participant à la couverture dans cette zone) à l'exception des antennes situées à l'intérieur des bâtiments.

Les simulations (ATDI) ont ensuite pour objectif de quantifier pour chaque scénario de réduction de puissance :

- la diminution du niveau d'exposition aux ondes des antennes relais
- la perte de couverture pour les services "voix" et "données".

Chaque scénario est simulé et aboutit, comme pour l'état des lieux simulé, à la production de cartes de modélisation de l'exposition et de la couverture.

4.1.2 Expérimentation terrain de diminution de puissance des antennes relais

L'objectif de l'expérimentation est de vérifier sur le terrain les résultats des simulations de la couverture suite aux réductions de puissance dont l'objectif est d'atteindre en tout point au sol ou en façade un niveau d'exposition maximal donné.

L'abaissement de puissance appliqué par ATDI se conforme aux valeurs calculées par le CSTB.

Le principe de l'expérimentation est de quantifier par des mesures, la dégradation de la couverture GSM 1800 (extérieure et intérieure) après un abaissement effectif de puissance pour plusieurs émetteurs (3 si possible, 1 par opérateur) de la zone d'expérimentation.

Les mesures sont réalisées (par GET) en deux fois : dans un premier temps, les mesures permettent de caractériser la couverture initiale dans les zones de mesure choisies, et, dans un deuxième temps, elles permettent d'évaluer cette couverture une fois la puissance de la cellule atténuée afin d'atteindre le seuil maximum d'exposition visé. Entre ces mesures, chaque opérateur concerné effectue la baisse de puissance de son émetteur.

Les mesures en roulant (ou à pieds) sont faites pour un émetteur par opérateur, sous réserve que la configuration GSM 1800 existe pour chaque opérateur, à défaut au moins un émetteur est testé. Les mesures en dessous de la sensibilité et les mesures du canal pilote d'une autre station sont exclues. Les positions GPS sont fournies chaque seconde. Le parcours sur l'ensemble de la zone est validé par le COPIC.

Pour les mesures en intérieur, les points de mesure sont identifiés grâce à l'aide de la ville. Ces points sont des locaux situés préférentiellement au rez-de-chaussée, ou à défaut au premier étage en zone commerciale. En effet, la présence de vitrines dont l'atténuation est plus faible qu'un mur plein fausse l'analyse de la pénétration à l'intérieur des bâtiments. Le niveau est relevé sur un parcours dans les différentes pièces et un plan est relevé manuellement.

L'adresse et la localisation de l'appartement ou local (avec photos) sont fournies de manière précise de façon à permettre une analyse et la comparaison avec les simulations.

4.1.3 Simulation de reconfiguration des réseaux

Conformément aux orientations du COPIC, la société ATDI, prestataire des expérimentations sur le volet modélisation de la couverture, réalise sur certaines zones d'expérimentation, des études de reconfiguration des réseaux BYT, Orange et SFR tels qu'ils existaient lors de l'état des lieux.

Après abaissement de puissance, le seuil défini (0,6 V/m dans la plupart des cas) est atteint mais la zone de couverture a diminué. L'objectif de la reconfiguration est de reconstituer la couverture initiale 2G et 3G de l'état des lieux ainsi que les pourcentages de débits HSDPA⁵ (à partir de 500 Kbps) en ajoutant de nouvelles antennes sans dépasser le seuil fixé en tout point (sol et façade).

L'étude de la reconfiguration a été menée selon différentes hypothèses simplificatrices, qui ne pourraient être directement appliquées dans le cadre d'un réseau de téléphonie mobile réel en service, du fait de la complexité d'un réseau de téléphonie mobile. Pour mémoire, elle ne prend en compte ni le 4^{ème} réseau 3G, ni les réseaux 4G en cours de déploiement, ni les antennes installées à l'intérieur des bâtiments. Les hypothèses de la reconfiguration sont donc les suivantes :

- elle ne prend pas en compte les volumes de communication : les antennes 2G ajoutées n'ont qu'un seul canal à 900 MHz et un seul canal 3G à 2 GHz. Il n'y a pas de planification du trafic (voix/données) offert par le réseau ;
- elle n'examine pas l'impact sur la qualité de service de la multiplication de changements de cellules pour un utilisateur en mouvement ;
- en 3G/data, la reconstitution de la couverture est basée sur la couverture pour un débit de 500 kbit/s. On constate que la couverture ainsi reconstituée est moins bonne pour les débits supérieurs ;
- l'étude n'examine pas la faisabilité technique (existence d'un emplacement pouvant accueillir l'antenne et les équipements radio...) et réglementaire (respect des règles d'urbanisme, présence d'établissements sensibles...) de l'installation de l'antenne, l'accord ou non du propriétaire pour cette installation ;
- en 3G (UMTS), les conditions de non brouillage sont respectées alors qu'en GSM la planification en fréquence n'ayant pas été effectuée, cet aspect n'a pas été étudié.

Ces hypothèses ont été appliquées pour Paris 14^{ème} et Grand-Champ.

Certaines de ces hypothèses ont été affinées pendant la simulation de reconfiguration des réseaux à Grenoble et ont été appliquées sur les reconfigurations suivantes: le nombre de sites a été optimisé avec l'ajout systématique d'antennes tri sectorielles. Les hauteurs maximales des antennes ajoutées (2G et 3G) n'ont pas dépassé celle des antennes existantes à l'intérieur de la zone d'expérimentation (à 5 m près). La qualité de service non étudiée dans

⁵ les tableaux de débits HSDPA seront également consultables sur le site www.cartoradio.fr

ces simulations est prise en compte de façon très sommaire en considérant 2 TRX pour chaque nouvel émetteur GSM. Parmi ces hypothèses, le critère sur les hauteurs est le plus discriminant. Grenoble est le premier cas qui s'est manifesté où des hauteurs élevées pour des bâtiments non accessibles pour les opérateurs rendaient la reconfiguration plus simple et plus du tout réaliste. Il s'agit dans cette simulation de considérer des hauteurs d'implantation vraisemblables.

4.2 Simulations d'abaissement de puissance des antennes relais

L'objectif de l'étude est de simuler l'impact d'une diminution de puissance en terme de dégradation de la couverture visant pour l'ensemble des villes un niveau d'exposition de 0,6 V/m, avec en plus deux autres valeurs testées 1 V/m pour Paris 14^{ème} ou 1,5 V/m pour Plaine-Commune.

Cette opération n'a pas été réalisée sur la ville de Kruth car la quasi-totalité de la zone d'expérimentation est déjà exposée à des niveaux inférieurs à 0,6 V/m.

Il est à noter que les résultats dépendent des opérateurs, du réseau, et des stations installées.

4.2.1 Résultats

4.2.1.1 Exemple du traitement de Paris 14^{ème}

Sur Paris 14^{ème}, 2 seuils ont été testés : 0,6 et 1 V/m.

Les résultats en termes d'impact sur la couverture sont donnés à titre d'exemple pour la 2G à 0,6 et 1 V/m, pour les 3 opérateurs dans les figures 44 et 45.

BYT		
	Avant réduction de puissance	Après réduction de puissance
EXTERIEUR	100.0 % 1.7 km ²	99.27 % 1.70 km ²
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	71.5 % 0.9 km ²	12.93 % 0.15 km ²
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	46.5 % 0.6 km ²	7.4 % 0.09 km ²

ORA		
	Avant réduction de puissance	Après réduction de puissance
EXTERIEUR	100.0 % 1.7 km ²	93.79 % 1.61 km ²
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	87.8 % 1.05 km ²	14.58 % 0.17 km ²
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	68.2 % 0.81 km ²	8.55 % 0.10 km ²

SFR		
	Avant réduction de puissance	Après réduction de puissance
EXTERIEUR	100.0 % 1.7 km ²	91.49 % 1.57 km ²
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	61.6 % 0.7 km ²	11.35 % 0.14 km ²
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	39.7 % 0.5 km ²	6.98 % 0.08 km ²

Figure 44 : résultats simulés en termes d'impact sur la couverture 2G d'un abaissement de puissance à 0,6 V/m – Paris 14^{ème}

BYT	Avant réduction de puissance	Après réduction de puissance
EXTERIEUR	100.0 % 1.7 km ²	99.97 % 1.71 km ²
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	71.5 % 0.9 km ²	20.72 % 0.25 km ²
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	46.5 % 0.6 km ²	12.10 % 0.14 km ²

ORA	Avant réduction de puissance	Après réduction de puissance
EXTERIEUR	100.0 % 1.7 km ²	98.83 % 1.69 km ²
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	87.8 % 1.05 km ²	22.28 % 0.27 km ²
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	68.2 % 0.81 km ²	13.17 % 0.16 km ²

SFR	Avant réduction de puissance	Après réduction de puissance
EXTERIEUR	100.0 % 1.7 km ²	97.88 % 1.68 km ²
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	61.6 % 0.7 km ²	16.92 % 0.20 km ²
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	39.7 % 0.5 km ²	10.22 % 0.12 km ²

Figure 45 : résultats simulés en termes d'impact sur la couverture 2G d'un abaissement de puissance à 1 V/m – Paris 14^{ème}

On voit pour la 2G et la 3G (données présentées sous forme de réduction du débit pour un utilisateur) qu'à l'intérieur des bâtiments, le taux de couverture est divisé par 3 au minimum après premier mur. Par exemple, pour le scénario à 0,6 V/m, pour Bouygues Télécom, en 2G, la couverture après premier mur passe de 71,5 % à 46,5%.

4.2.1.2 Synthèse des résultats des différentes villes pour la valeur de 0,6 V/m

Ces simulations font apparaître qu'en extérieur, la couverture est globalement peu affectée par la diminution de puissance, notamment en ce qui concerne le réseau 2G.

Concernant le réseau 2G, il apparaît qu'à l'intérieur des bâtiments, le taux de couverture après un premier mur ou après deuxième mur connaît une dégradation notable marquée par une chute d'environ 50% par rapport à la situation avant abaissement de puissance. Cette dégradation tend à être plus faible en zone rurale qu'en zone urbaine.

Les impacts sur la 3G confirment ou accentuent ces résultats (les résultats détaillés sont disponibles en annexe C).

Pour atteindre une exposition maximale de 0,6 V/m, les simulations montrent qu'un abaissement de l'exposition s'accompagne d'une forte détérioration de la couverture du réseau à l'intérieur des bâtiments (pertes en moyenne de 82% de la couverture intérieur à Paris 14^{ème}, de 44% à Grenoble et de 37% à Grand-champ) où il ne serait plus possible de passer ou recevoir un appel.

Les principaux résultats par ville sont disponibles en annexe C du présent chapitre et seront disponibles prochainement sur le site internet www.cartoradio.fr

4.2.1.3 Influence de la dégradation de couverture aux seuils d'abaissement

Pour Paris 14^{ème}, le scénario de diminution de l'exposition à 1 V/m atténue la dégradation de la couverture par rapport au scénario d'abaissement à 0,6 V/m. Toutefois cette différence n'est pas très significative.

S'agissant de Plaine Commune, la différence de dégradation de la couverture entre les 2 scénarios (0,6 V/m et 1,5 V/m) est quasiment imperceptible en extérieur (réseaux 2G et 3G). En intérieur, il a été constaté que l'abaissement de l'exposition à 1,5 V/m conduit, après un premier mur ou un deuxième mur, à une amélioration de l'ordre de 20 à 30 points de pourcentage en 2G par rapport à un abaissement à 0,6 V/m. Cette amélioration s'avère moins importante pour le réseau 3G.

4.3 Expérimentations terrain d'abaissement de puissance

L'objectif de cette phase de l'expérimentation est de vérifier sur le terrain les résultats des simulations de la couverture suite aux réductions de puissance visant un champ électrique maximal de 0,6 V/m.

L'expérimentation est présentée sur Paris 14^{ème}, les autres villes étant en cours de traitement.

4.3.1 Résultats

Trois antennes GSM-1800 (une par opérateur) ont été choisies couvrant approximativement la même partie de l'arrondissement (voir figure 46). Les simulations du CSTB avaient conclu aux abaissements de puissance suivant :

- Orange : 22 dB (réduction de puissance d'un facteur 158)
- BYT : 18 dB (réduction de puissance d'un facteur 63)
- SFR : 16 dB (réduction de puissance d'un facteur 40)

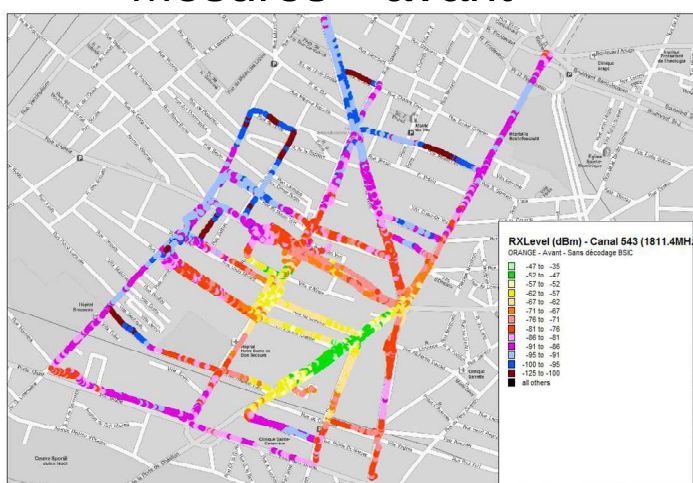


Figure 46 : localisation des antennes sur la zone d'expérimentation

Mesures en extérieur :

Des mesures en extérieur sont réalisées par GET au scanner avec, selon le cas, antenne de toit et GPS ou bien antenne sur sac à dos. Le scanner est « bloqué » sur la cellule à étudier, dans l'objectif d'obtenir plusieurs milliers de points de mesures par quartier. Le décodage de la cellule est systématiquement effectué. Le parcours exact est reporté sur une carte afin de faciliter la correction des erreurs de localisation du GPS. Quelques photos peuvent être prises avec l'adresse associée pour analyse lorsqu'un des émetteurs choisi est en vue directe.

Mesures « avant »



Mesures en intérieur :

26 points de mesure ont été choisis, avec l'aide de la ville, en rez-de-chaussée dans des bâtiments de type logement en priorité, c'est-à-dire sans vitrine (voir figure 48).

Des mesures en intérieur sont réalisées par GET au scanner (éventuellement complété par des mesures au mobile à trace) « bloqué » sur la cellule à étudier. Le décodage de la cellule est systématiquement effectué. La localisation de la mesure et le « niveau » d'indoor sont précisés. L'adresse exacte et le positionnement des ouvertures sont fournis sur un plan de la zone, ainsi que des photos de ces ouvertures, afin de faciliter la localisation du lieu de mesure par ATDI.



Figure 48 : cartographie des points de mesure en intérieur (26 mesures en rez-de-chaussée)

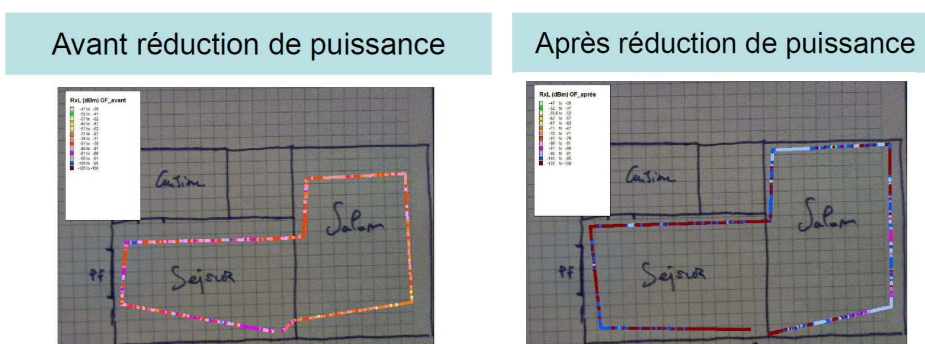


Figure 49 : exemple mesures de couverture en intérieur avant et après baisse de puissance

4.3.2 Comparaison avec les modélisations

Mesures en roulant

La figure 50 présente une superposition des simulations et des mesures en roulant pour les 3 opérateurs.

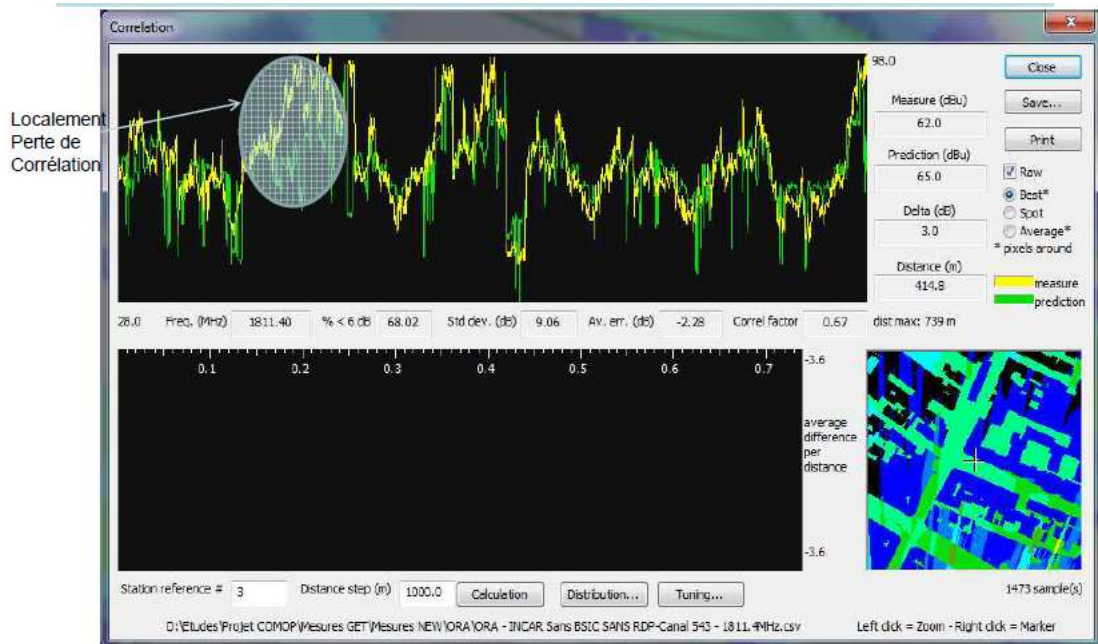


Figure 50 : corrélation simulation/mesure couverture

La corrélation des simulations et des mesures de couverture apparaît satisfaisante (avec localement des différences) si certaines précautions méthodologiques sont prises, et, à l'exception du cas de SFR qui reste inexpliqué (moins bonne corrélation) pour ce cas précis.

On peut conclure que la dégradation de couverture apparaissant dans les simulations d'abaissement de puissance est aussi constatée à un même niveau dans les mesures.

Mesures en intérieur

Pour le calcul de la couverture intérieure dans le cadre des simulations, une marge est prise par rapport à la couverture simulée à l'extérieur du bâtiment et cela permet de déterminer si un lieu, une pièce ou un appartement est couvert au sens statistique, c'est-à-dire si 80 % des points à l'intérieur de cette pièce sont capables de recevoir ou d'émettre un appel. En revanche, lorsque l'on fait la mesure de la couverture, il s'agit de se déplacer dans un bâtiment, et de vérifier sur une série de points la couverture par rapport au seuil de couverture. Cela permet de savoir en un point, si le mobile test utilisé est capable de recevoir ou d'émettre un appel : il s'agit d'une couverture ponctuelle.

Par conséquent, la couverture statistique (en simulation) donne des résultats qui sont peu variables. On a pour, un appartement donné, une valeur quasiment constante. Par contre, la couverture ponctuelle, traduisant toutes les variations du champ, qui a pu être constatée dans les mesures, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur, peut varier énormément dans une même pièce.

Plusieurs mesures, notamment en rez-de-chaussée, se sont avérées inférieures à la sensibilité de l'appareil. Le groupe de travail a considéré que si plus de 80 % des points mesurés sont inférieurs à la sensibilité, alors il n'est pas possible de faire une analyse statistique.

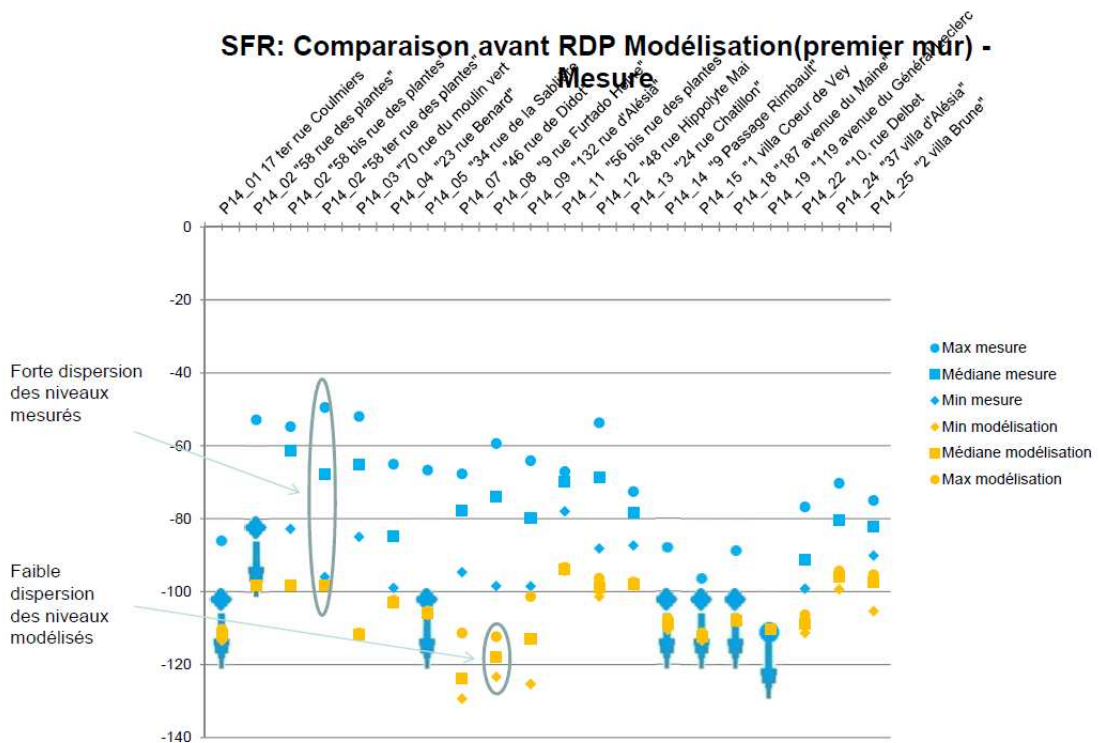


Figure 51 : comparaison modélisation/mesures avant réduction de puissance après 1^{er} mur

Les graphiques obtenus (voir figure 51), permettent de comparer en bleu les mesures (avec un niveau maximum, un niveau minimum avec au milieu le carré qui représente le champ médian) et les valeurs modélisées en jaune. On constate tout d'abord qu'il y a effectivement une distribution assez large des mesures entre le minimum et le maximum, alors que pour les modélisations les résultats sont très resserrés.

Environ 20 % des points étaient inférieurs à la sensibilité (flèches sur le graphique) : ces points ne peuvent pas être analysés en termes de mesure de façon statistique.

Dans l'ensemble, on constate d'abord que le niveau modélisé est en général plus proche du niveau minimum mesuré.

Cependant, on peut trouver des contre-exemples: l'un où les niveaux modélisés sont plutôt proches de la médiane des niveaux mesurés et l'un où les niveaux modélisés restent très

inférieurs au niveau minimum mesuré. On constate donc une difficulté à comparer de façon rigoureuse mesure et modélisation.

Si on analyse les points un par un, on s'aperçoit que pour Orange et Bouygues l'ensemble des points qui étaient couverts correctement avant réduction de puissance deviennent non couverts ou mal couverts après la réduction de puissance. Pour SFR, même s'il y a une chute significative du nombre de points couverts, on constate qu'il reste, malgré tout, encore des points couverts après la réduction de puissance. On peut remarquer un écart assez important entre la modélisation et la mesure, écart qui n'a pu être expliqué malgré tous les efforts de SFR, d'ATDI et du groupe technique.

4.3.3 Conclusions

Mesures en extérieur

Concernant les mesures dans la rue, on constate un résultat de comparaison simulations/mesures satisfaisant.

Mesures en intérieur

Dans l'ensemble, on constate d'abord que le niveau modélisé est en général plus proche du niveau minimum mesuré.

De plus, la corrélation entre modélisation et mesure en intérieur est relativement faible, contrairement à ce que l'on a pu constater à l'extérieur des bâtiments. C'est d'ailleurs cette forte corrélation qui avait permis de confirmer la fiabilité de l'outil d'ATDI.

Ce résultat met en évidence la difficulté du calcul de la couverture en intérieur. Il est en effet extrêmement difficile de savoir si un lieu précis en intérieur est couvert ou non. De nombreux facteurs interviennent tels que la situation du bâtiment, de la façade, des ouvertures et de l'agencement intérieur.

A l'intérieur des bâtiments il est très difficile de modéliser la couverture, par conséquent les variations mesurées ne sont pas simulées. Il vaut mieux comparer la couverture modélisée avec la couverture mesurée minimale : cela correspond à la notion de 80 % de couverture à l'intérieur avec une probabilité de 95 % de passer un appel.

Cette difficulté de modélisation en intérieur n'a pas a priori de conséquence sur la qualité des travaux de reconfiguration des réseaux. En effet, le travail effectué à partir du même outil de simulation avant/après reconfiguration est indépendant de la réalité de la couverture radioélectrique.

D'une façon générale, les expérimentations terrain ont permis de confirmer les résultats issus des simulations de couverture.

4.4 Simulations de reconfiguration des réseaux

Le point de départ de cette étape est la perte de couverture provoquée par la réduction de puissance.

La question posée est celle des moyens à mettre en œuvre pour reconstituer la couverture.

La puissance des antennes est maintenue à la valeur du seuil fixé et l'on cherche à reconstituer la couverture pour chacun de trois réseaux, Bouygues, Orange et SFR.

La reconfiguration est réalisée en recherchant les meilleurs sites au départ, il s'agit d'un travail itératif en considérant au départ la puissance maximale pour chaque émetteur et en éliminant les sites inutiles. La puissance de chaque nouvel émetteur est ajustée, de façon à ce qu'il ne génère pas, individuellement, une exposition supérieure à 0,6 V/m, sans tenir compte des autres émetteurs et du cumul des expositions. Le travail est ensuite itératif jusqu'à la reconstitution de la couverture initiale. Il est constaté que le calcul en façade émetteur par émetteur suffit en général à remplir la condition 0,6 V/m sans tenir compte de l'aspect cumulatif des autres émetteurs.

Pour la couverture 2G, deux réseaux coexistent : le GSM 900 et le GSM 1 800. Le GSM 1 800 a une couverture moins bonne que le GSM 900 du fait des fréquences dans la bande 900 MHz qui pénètrent mieux à l'intérieur qu'en bande 1800 MHz. Comme on ne s'intéresse qu'à la couverture, il a été décidé de n'utiliser que les nouvelles antennes GSM 900 permettant une couverture plus favorable.

La simulation de reconfiguration ne prend pas ou peu en compte le volume du trafic géré localement par chacun des opérateurs. Dans la réalité, chaque opérateur planifie son réseau avec un objectif de couverture et un objectif de capacité. Cette planification nécessite, pour le dimensionnement du réseau, des informations commerciales et concurrentielles qui ne peuvent pas être partagées et que le COPIC ne possède donc pas.

En 3G, la simulation de reconfiguration cherche à rétablir un débit de 500 kbits par seconde. Dans les réseaux reconfigurés, on constate que les débits sont dégradés par rapport aux débits initiaux pour les débits supérieurs à 500 kbits par seconde et qu'ils sont améliorés pour les débits inférieurs. Elle ne prend pas en compte les risques de brouillages en 2G qui pourraient être causés par les antennes complémentaires. Dans la couverture reconstituée, la simulation intègre la couverture apportée par les antennes micro installées à l'intérieur des bâtiments, sachant que ces antennes sont exclues des modélisations de l'exposition et donc que leur puissance n'a pas été réduite afin que leur exposition ne dépasse pas 0,6 V/m.

Dernière limitation de l'exercice : ATDI, lors de la reconstitution, n'a pas examiné sur place si, il était possible techniquement d'installer une antenne et d'obtenir l'accord des bailleurs.

L'utilisation d'antennes omnidirectionnelles en toiture a été aussi écartée assez rapidement du fait des brouillages qu'elles occasionneraient entre elles.

4.4.1 Résultats

4.4.1.1 Exemple du traitement de Paris 14^{ème}

Le réseau de chacun des trois opérateurs a été traité de façon arbitraire avec un scénario différent pour limiter les temps de calcul. Chacun des trois scénarios testés a consisté à rajouter des antennes dans l'objectif de reconstituer la couverture.

SCENARIO DENSIFICATION « TOUT MICRO »

- Utilisation d'antennes **micro** GSM900 et UMTS

Les hypothèses prises pour les antennes ajoutées sont les suivantes :

- Antennes réelles de SFR à 900 MHz (2G) et 2 GHz (3G)
- Puissance rayonnée de 2 W
- Les sites 2G et 3G sont choisis indépendamment
- Pas de prise en compte du niveau d'exposition générée par ces antennes (le niveau 0,6 V/m est dépassé en deçà d'une distance de 13 m en espace libre).
- L'étude a démontré qu'il était presque toujours nécessaire de placer les antennes micro sur les toits pour reconstituer la couverture. Toutefois, les antennes micro placés sur les toits augmentent le risque de brouillages inter-cellules et ne sont donc pas optimales en termes de planification.

SCENARIO DENSIFICATION « TOUT MACRO »

- Compte tenu des enseignements de la reconfiguration SFR, une nouvelle hypothèse de reconfiguration a été testée pour BYT : utilisation d'antennes **macro** GSM900 et UMTS
 - Le seuil de 0,6 V/m est vérifié par ATDI sur la façade en face de l'antenne (espace libre)
 - Les caractéristiques des antennes macros sont optimisées compte tenu des contraintes d'exposition et de couverture
 - Localisation
 - Puissance rayonnée
 - Directivité de l'antenne (azimut et tilt)
 - Les nouveaux sites 2G et 3G sont colocalisés

SCENARIO DENSIFICATION « MIXTE »

- Nouvelle hypothèse de reconfiguration pour ORANGE avec une utilisation mixte d'antennes micro et macro GSM900 et UMTS :
 - Antenne micro avec les mêmes hypothèses que pour la reconfiguration SFR
 - Antenne macro avec les mêmes hypothèses que pour la reconfiguration BYT
 - Choix par ATDI d'une antenne micro ou macro selon les contraintes locales d'exposition et de couverture

Les résultats obtenus pour les trois opérateurs en termes de nombre de sites et d'antennes sont donnés dans les deux tableaux suivants (figures 52 et 53) :

Opérateur et Méthodologie	Nombre initial d'antennes (col. A)	Antennes ajoutées dans reconfiguration (col. B)	Nombre total après la reconfiguration (col. C)	Coefficient multiplicateur (ratio col. C / col. A)
SFR / micro omni sur toits	81	163	244	3,0
BYT / antennes directives	91	165	256	2,8
Orange / mix micro omni sur toits et antennes directives	62	161	223	3,6

Figure 52 : nombre d'antennes à ajouter après reconfiguration - Paris 14^{ème}

Opérateur et Méthodologie	Nombre initial de sites (col. A)	Sites ajoutés dans reconfiguration (col. B)	Nombre total après la reconfiguration (col. C)	Coefficient multiplicateur (ratio col. C / col. A)
SFR / micro omni sur toits	21	151	172	8,2
BYT / antennes directives	18	38	56	3,1
Orange / mix micro omni sur toits et antennes directives	16	71	87	5,4

Figure 53 : nombre de sites à ajouter après reconfiguration - Paris 14^{ème}

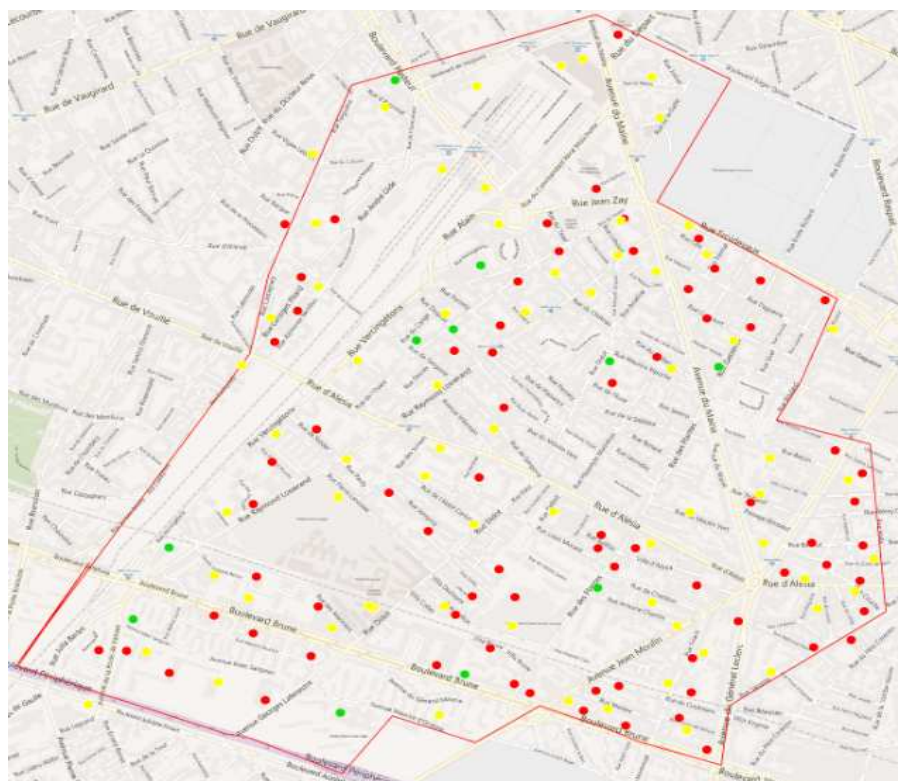


Figure 54 : cartographie des sites à ajouter pour SFR (rouge : site 2G – jaune : sites 3G – vert : sites 2G et 3G colocalisés) – Paris 14^{ème}

Se pose la question de la comparaison de ces différents scénarios. Pour être en mesure de bien appréhender ces comparaisons, il est nécessaire de connaître les hypothèses prises, en fonction des différents types d'antennes, qui sont données ci-dessous :

- Cas des antennes 2G GSM1800 :
 - la couverture 2G est reconstituée uniquement avec des antennes GSM900
 - Les antennes GSM1800 colocalisées avec les antennes GSM900 apportent du trafic supplémentaire mais pas de couverture
 - Les antennes GSM1800 isolées permettent de compléter la couverture

Les antennes GSM1800 co-localisées avec des antennes GSM900 ne sont donc pas prises en compte dans la comparaison.

- Cas des antennes indoor : Les antennes micro indoor existantes sont intégrées dans le calcul de couverture mais la prise en compte dans la comparaison serait difficilement interprétable.
- Les antennes ajoutées sont généralement au nombre de 1 par site pour les antennes micro et de 3 par site pour les antennes macro. A nombre d'antennes ajoutées semblables, le nombre de sites va donc être beaucoup plus important pour les scénarios « micro ».
- Colocalisation avec les antennes existantes : Cette contrainte d'optimisation a été imposée pour BYT/Orange mais pas pour SFR

En termes d'antennes, on obtient un facteur 3 au minimum entre la situation existante et la situation nouvelle. La comparaison se fait aussi en termes de nombre de sites, qui est finalement l'élément de comparaison prévalent pour les opérateurs (sites nouveaux à trouver). Dans le cas SFR, le résultat est complexe à interpréter parce que le groupe technique n'avait pas cherché à co-localiser la 2G et la 3G et les antennes micros placés sur les toits ne sont pas une solution satisfaisante. Le cas le plus intéressant est le cas de Bouygues, le scénario tout macro où l'on trouve ce coefficient multiplicateur d'environ 3.

Pour le cas de Bouygues, la plupart des nouveaux sites sont des sites où coexistent à la fois 2G et 3G. Il y a quelques cas où on ne retrouve que des antennes 2G parce qu'il n'était pas nécessaire de rajouter des antennes 3G pour reconstituer la couverture (voir figure 55).

BYT	Couverture Extérieure		Couverture Intérieure après premier mur		couverture Intérieure après deuxième mur	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G
Etat des lieux	100.0%	99.77%	71.5%	58.12%	46.5%	32.66%
Réduction de puissance (0.6V/m)	99.27%	99.76 %	12.93%	16.48 %	7.40%	9.75 %
+ complément 99 antennes 2G et 66 antennes 3G	99.80%	99.92 %	71.31%	61.42 %	56.71%	49.10 %

Figure 55 : reconstitution des réseaux 2G et 3G BYT – Paris 14^{ème}

Le CSTB a, dans un deuxième temps, procédé au calcul de la nouvelle exposition à partir de l'ensemble des antennes initiales et ajoutées.

Globalement, le niveau d'exposition ne dépasse pas 0,6 V/m. L'examen de la distribution statistique des niveaux d'exposition en façade et au sol montre qu'environ 97% des points se situent en dessous de ce seuil.

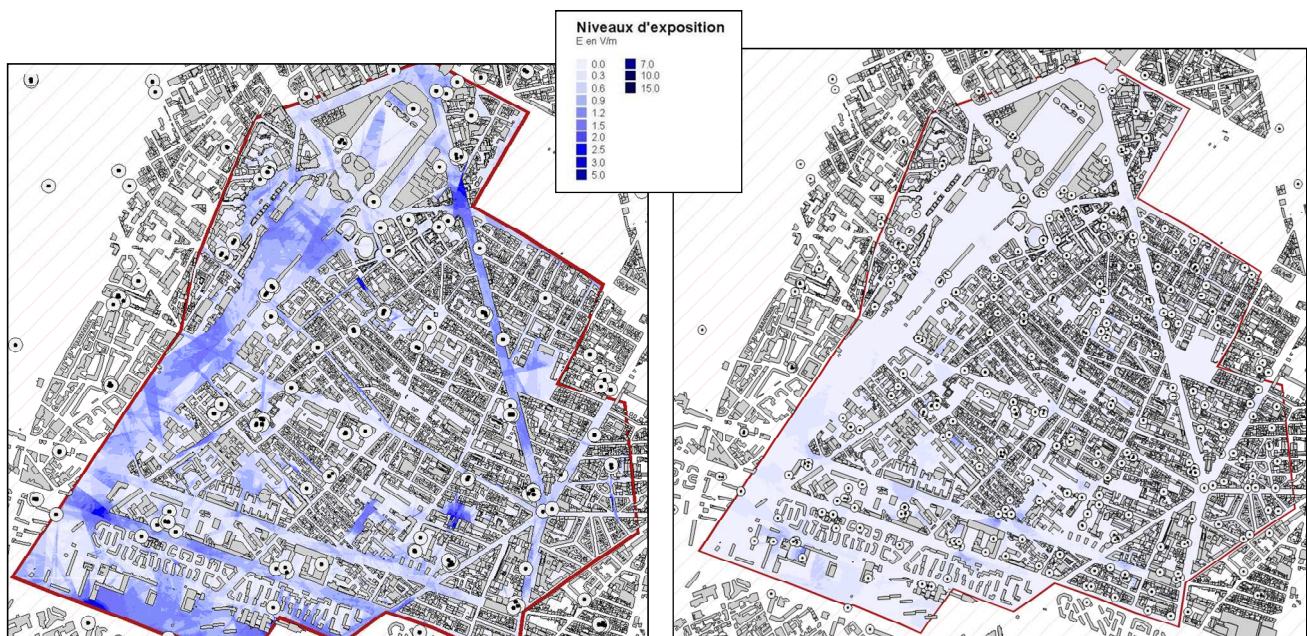


Figure 56 : cartographie de l'exposition au sol avant et après reconfiguration – Paris 14^{ème}

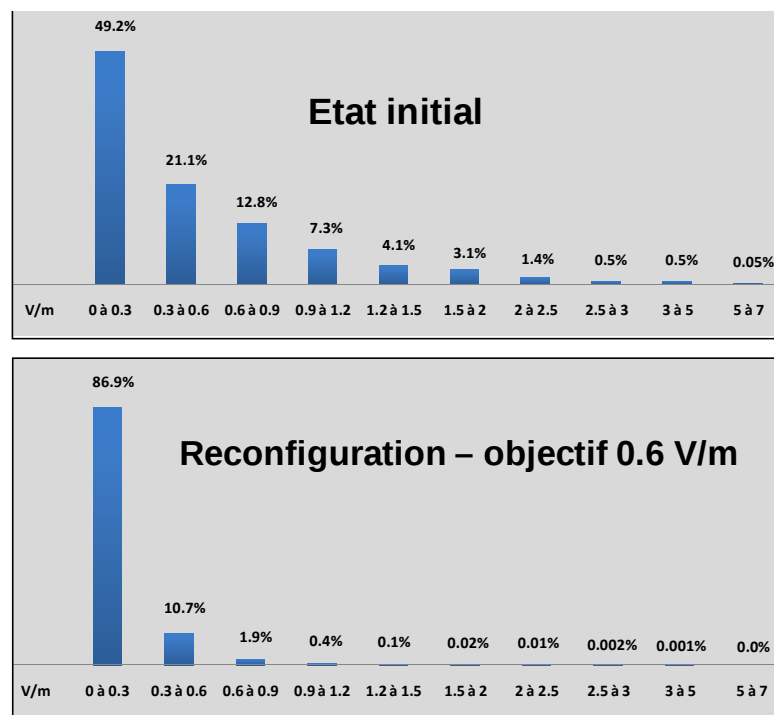


Figure 57 : distribution de l'exposition en façade avant et après reconfiguration – Paris 14^{ème}

Des dépassements ponctuels et relativement faibles de ce seuil ont pu être observés. L'existence de ces dépassements s'expliquent par le fait que:

- le seuil n'est pas vérifié pour les antennes micro 2 W (0,6 V/m correspond à 13 m en espace libre) ;
- la valeur de 0,6 V/m est vérifiée antenne par antenne par ATDI mais n'intègre donc pas l'effet de cumul entre les différentes antennes (pour les antennes macro) ;
- les calculs de puissance pour les antennes macro sont effectués en espace libre. Or, les phénomènes de réflexion peuvent créer un champ localement supérieur au champ en espace libre ;
- Le seuil pour les antennes macro est vérifié sur les façades qui font face à l'antenne : L'exposition "rasante" n'est donc pas prise en compte et la complexité du bâti peut amener des situations "limites" ;

Des exemples de configuration dans lesquelles apparaissent ces dépassements sont donnés en annexe H.

A l'issue de cette première expérimentation, on peut se demander quel est le meilleur scénario parmi les 3 envisagés.

Le scénario "tout micro" ainsi que le scénario "mixte" sont les moins satisfaisants parce qu'ils nécessitent l'ajout du plus grand nombre d'antennes relais. Pour SFR (tout micro), on a un facteur d'au moins 8 tandis que pour Bouygues (tout macro), on a un facteur d'au moins 3. L'utilisation d'antennes micro est donc considérée par le COPIC comme non satisfaisante. Pour les autres expérimentations, seul le scénario "tout macro" sera utilisé : on place sur des nouveaux sites, des antennes macros à faible puissance en essayant de les co-localiser et de limiter l'impact en termes de nombre de sites.

Le chiffre pertinent à retenir, avec toutes les réserves qui ont été données, est la multiplication du nombre de sites par 3 dans le cas de Bouygues Télécom. Si la contrainte de garantir la même offre de trafic avait été retenue, la multiplication du nombre de sites serait probablement supérieure à 3.

4.4.1.2 Synthèse des résultats des différentes villes

Les simulations de reconfiguration ont été lancées dans les 6 autres villes.

L'hypothèse retenue est celle d'une densification des antennes macro (cas de BYT), pour l'ensemble des opérateurs, permettant ainsi une comparaison.

Une des simulations suivantes de reconfiguration des réseaux en zone urbaine cherchera à reconstituer la couverture data initiale pour les débits HSDPA à 500 kbps.

Ville	Opérateur	nombre initial	nombre ajoutées	total	coefficient multiplicateur
Paris 14 ^{ème}	BYT	91	165	256	2,8
	ORA	62	161	223	3,6
	SFR	81	163	244	3,0
Grand Champ	BYT	3	10	13	4,33
	ORA	12	18	30	2,5
	SFR	3	9	12	4
Grenoble	BYT	28	54	82	2,93
	ORA	23	54	77	3,35
	SFR	29	51	80	2,76
Lavelanet	BYT	6	9	15	2,5
	ORA	16	87	103	6,44
	SFR	6	12	18	3
Thiers	BYT	13	21	34	2,62
	ORA	19	27	46	2,42
	SFR	13	21	34	2,6

Figure 58 : nombre d'antennes à ajouter par ville - reconfigurations à 0,6 V/m

Ville	Opérateur	Nombre initial	Nombre ajoutés	Total	Coefficient multiplicateur
Paris 14 ^{ème}	BYT	18	38	56	3,1
	ORA	16	71	87	5,4
	SFR	21	151	172	8,2
Grand Champ	BYT	1	5	6	6
	ORA	2	7	9	4,5
	SFR	1	3	4	4
Grenoble	BYT	6	12	18	3
	ORA	4	10	14	3,5
	SFR	8	17	25	3,12
Lavelanet	BYT	1	2	3	3
	ORA	3	25	28	9,3
	SFR	2	4	6	3
Thiers	BYT	3	7	10	3,3
	ORA	4	7	11	2,75
	SFR	4	7	11	2,75

Figure 59 : nombre de sites à ajouter - reconfigurations à 0,6 V/m

4.4.2 Conclusion

L'objectif était d'évaluer les modifications à apporter au réseau afin de respecter un seuil d'exposition donné (en l'occurrence 0,6 V/m) tout en conservant la couverture initiale.

Il est utile de rappeler que cette simulation ne prend pas en compte les questions de volume de communications (hormis partiellement pour Grenoble, Lavelanet et Thiers), ni les problématiques d'écoulement du trafic ou de dégradation de la qualité de service.

De plus, la faisabilité de l'implantation des nouveaux sites (faisabilité technique, réglementaire, etc) n'a pas été prise en compte par l'étude. Ces hypothèses invitent donc à considérer les résultats issus de ces simulations comme un minimum.

Le bilan est le suivant :

- le nombre de sites devrait être multiplié par un facteur ≥ 3 à Paris 14^{ème} ;
- le nombre de sites devrait être multiplié par un facteur ≥ 4 à Grand-Champ ;
- le nombre de sites devrait être multiplié par un facteur ≥ 3 à Grenoble ;
- le nombre de sites devrait être multiplié par un facteur ≥ 3 à Lavelanet ;
- le nombre de sites devrait être multiplié par un facteur ≥ 3 à Thiers.

5 SIMULATION DE L'IMPACT SUR L'EXPOSITION DE L'AJOUT D'ANTENNES 4G (LTE) THEORIQUES

La technologie 4G permet d'accéder à des débits 50 fois supérieurs à celui de la 3G, facilitant ainsi les téléchargements de fichiers volumineux et la création de nouveaux services. Trois bandes de fréquences sont prévues pour la 4G :

- la bande 2,6 GHz dont les premiers déploiements ont été effectués ;
- la bande 1 800 MHz, dont l'utilisation a été récemment autorisée par l'Arcep (non prise en compte dans cette étude) ;
- et la bande 800 MHz qui fait l'objet à ce jour de premières expérimentations.

Afin de mettre en œuvre une des recommandations du rapport d'étape de François Brottes et de répondre aux attentes des parties prenantes, le COPIC a décidé d'ajouter un volet à ses expérimentations consistant à simuler l'impact du déploiement de la 4G sur l'exposition du public. Cette opération a été effectuée sur les 7 villes pilotes sélectionnées reflétant la diversité des typologies d'environnement, pour des raisons à la fois financières et de représentativité.

Les réseaux 4G sont seulement au début de leur déploiement et de leur mise en service, c'est pourquoi le COPIC a considéré des antennes 4G (LTE) théoriques.

5.1 Méthodologie suivie pour la prise en compte des réseaux 4G (LTE)

En particulier, l'exposition modélisée repose sur l'hypothèse théorique et maximisante que tous les émetteurs fonctionnent en même temps à puissance maximale. Il s'agit de simuler, dans un environnement modélisé, la propagation des ondes émises par les antennes en intégrant tous les effets physiques liés aux caractéristiques de l'environnement (réflexion, diffraction, effet de masque...).

En l'absence de recul et de retour d'expérience sur les réseaux 4G dont le déploiement est encore à ses débuts et au regard des réserves des opérateurs, le COPIC a retenu des hypothèses en principe majorantes pour les PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente : produit du gain de l'antenne par la puissance de l'émetteur) et donc pour l'exposition. Les caractéristiques techniques retenues sont les suivantes :

- pour chaque émetteur macro cellulaire GSM 900 : ajout d'un émetteur LTE 800
Bande de fréquences : 791 – 821 MHz
Caractéristiques identiques à celle de l'émetteur GSM 900 (diagramme, tilt...)
PIRE : **63 dBm**
- pour chaque émetteur macro cellulaire UMTS : ajout d'un émetteur LTE 2600
Bande de fréquences : 2620 – 2690 MHz

Caractéristiques identiques à celles de l'émetteur UMTS (diagramme, tilt...)

PIRE : **63 dBm**

La PIRE de 63 dBm correspond pour une antenne relais classique d'émission (de gain 17 dB) à une puissance de 40W.

Ces hypothèses ont fait l'objet d'aménagements dans le cas spécifique de Courbevoie où il existe plusieurs antennes micro cellulaires installées en façade de bâtiment contribuant à la couverture extérieure. L'ajout à chacune de ces antennes d'une puissance de 5W d'un émetteur LTE 800 MHz d'une puissance de 40W aurait été irréaliste. En conséquence, le COPIC a décidé de simuler l'ajout à ces antennes d'émetteurs LTE 800 MHz de même puissance, à savoir 5 W.

5.2 Résultats

L'ajout d'antennes 4G (LTE) théoriques aux réseaux 2G et 3G de l'état des lieux conduit à augmenter le niveau modélisé d'exposition au sol et en façade des bâtiments.

Cette augmentation se traduit par la modification de la répartition des niveaux d'exposition tant au sol qu'en façade. En effet, l'ajout d'antennes 4G (LTE) crée une augmentation de l'exposition qui se traduit mécaniquement par un glissement de la répartition de l'exposition vers des niveaux plus élevés.

A titre d'illustration, le cas de Plaine Commune est présenté dans le schéma ci-dessous :

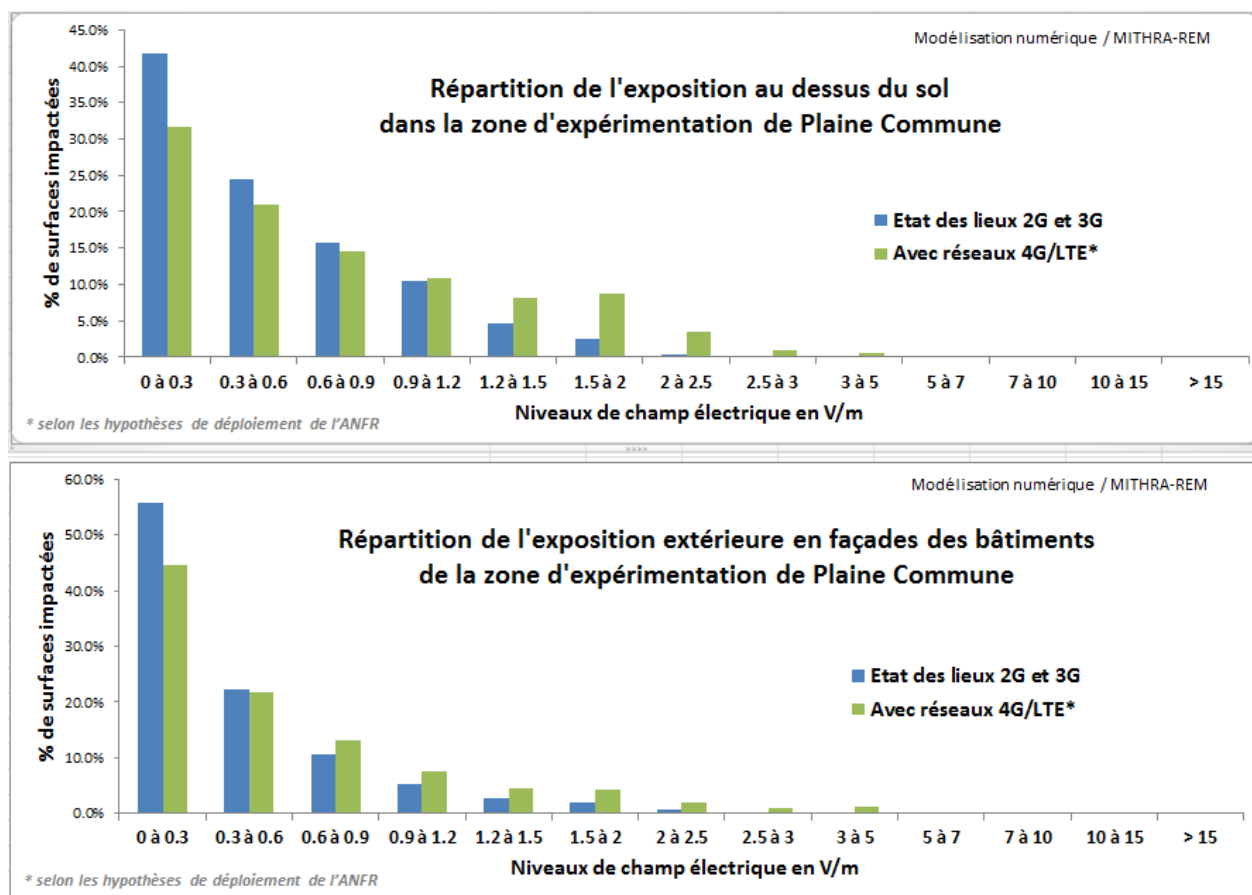


Figure 60 : répartition de l'exposition au sol et en façade avant et après l'ajout d'antennes 4G (LTE)- Plaine Commune

La synthèse des résultats des simulations de l'exposition en façade et au sol est présentée dans les tableaux suivants, l'ensemble des résultats pour chaque ville figure dans l'annexe C.

Ville	Avec réseaux 4G/LTE											
	Moyenne (V/m)	% augmentation / l'état des lieux	Médiane (V/m)	% augmentation / l'état des lieux	Niveau à 90% (V/m)	% augmentation / l'état des lieux	Niveau à 99% (V/m)	% augmentation / l'état des lieux	Niveau à 99.9% (V/m)	% augmentation / l'état des lieux	Niveau maximum (V/m)	% augmentation / l'état des lieux
Grand-Champ	0.090	50	0.05	25	0.25	67	0.65	81	1.20	71	6.80	33
Lavelanet	0.330	3	0.16	0	0.84	6	2.16	4	3.70	6	6.59	4
Thiers	0.150	67	0.06	20	0.38	73	1.09	76	3.60	140	12.03	84
Grenoble	0.440	52	0.27	35	1.08	59	2.25	63	3.50	46	8.07	61
Paris 14e	0.680	33	0.42	27	1.63	39	3.57	41	6.50	38	15.60	30
Plaine Commune	0.590	44	0.37	48	1.42	45	3.09	49	3.70	6	10.90	50
Courbevoie	0.600	30	0.3	7	1.67	52	3.64	35	6.45	34	20.50	33

Figure 62 : résultats statistiques par ville de l'évolution de l'exposition en façade

Ville	Avec réseaux 4G/LTE											
	Moyenne (V/m)	% augmentation / l'état des lieux	Médiane (V/m)	% augmentation / l'état des lieux	Niveau à 90% (V/m)	% augmentation / l'état des lieux	Niveau à 99% (V/m)	% augmentation / l'état des lieux	Niveau à 99.9% (V/m)	% augmentation / l'état des lieux	Niveau maximum (V/m)	% augmentation / l'état des lieux
Grand-Champ	0.170	55	0.12	33	0.38	73	0.76	73	1.70	70	2.20	69
Lavelanet	0.610	27	0.4	43	1.43	22	3.43	12	4.90	4	6.73	3
Thiers	0.300	88	0.16	100	0.79	93	1.92	85	4.70	81	8.80	81
Grenoble	0.720	80	0.53	61	1.64	98	2.34	89	2.90	21	4.67	69
Paris 14e	0.880	52	0.71	39	1.84	66	3.13	85	6.20	68	6.80	45
Plaine Commune	0.840	47	0.69	44	1.77	50	2.82	52	3.50	52	5.77	63
Courbevoie	0.700	46	0.5	39	1.95	77	3.98	81	6.22	78	8.60	54

Figure 61 : résultats statistiques par ville de l'évolution de l'exposition en façade

Le cas de Lavelanet se distingue et s'explique par l'utilisation d'un nombre limité d'émetteurs de forte puissance dans la zone d'expérimentation choisie, ainsi l'augmentation relative de l'exposition est faible (inférieure à 43% tout indicateur confondu).

Dans les autres cas, les simulations montrent que l'ajout d'antennes 4G (LTE) théoriques augmente l'exposition moyenne aux antennes relais en façade de 30 à 67%, ce qui porte la valeur moyenne la plus élevée à 0,7V/m, et au sol de 46 à 88%, ce qui porte la valeur moyenne la plus élevée à 0.9V/m.

A l'exception de Lavelanet, l'exposition moyenne simulée, pour l'ensemble des villes, avec l'ajout d'antennes 4G (LTE) théoriques augmente au sol et en façade, de 50% environ. A titre d'exemple, au sol sur la zone d'expérimentation de Paris 14^{ème}, l'exposition moyenne passerait de 0,6 V/m à 0,9 V/m environ.

Le maximum de l'exposition en façade peut être bien supérieur à celui obtenu au niveau du sol. Comme dans l'état des lieux, quelques façades, proches d'une antenne et dans son faisceau principal, concentrent de manière très localisée les expositions les plus élevées.

5.3 Conclusion

L'ajout de la 4G (LTE) dans les simulations dans 7 communes pilotes illustrant les différents types d'environnements géographiques montre que l'exposition augmente, tout en restant inférieure aux seuils réglementaires.

Sur la base des hypothèses prises par le COPIC et en général, l'exposition moyenne simulée avec l'ajout d'antennes 4G théoriques augmente au sol et en façade, de 50% environ. A titre d'exemple, au sol sur la zone d'expérimentation de Paris 14^{ème}, l'exposition moyenne passerait de 0,6 V/m à 0,9 V/m environ.

Ces résultats ne permettent pas de dégager de règle générale rendant possible une extrapolation de l'exposition dans une configuration 2G/3G/4G (LTE) à partir de celle d'un réseau 2G/3G.

Seules des campagnes de mesure avant/après déploiement permettront de chiffrer précisément l'augmentation de l'exposition liée au déploiement de la 4G (LTE).

ANNEXE A : RECOMMANDATIONS DU RAPPORT DE LA 1ERE PHASE PAR FRANÇOIS BROTTES

Recommandations relatives au volet concertation et information locales

- mettre à disposition des villes pilotes la boîte à outils élaborée par le COMOP destinée à favoriser l'information du public et à améliorer la concertation autour des projets d'implantation d'antennes relais, notamment les supports d'information prévus par l'Etat (fiches pédagogiques, documents questions-réponses, exposition itinérante) et les cahiers d'acteurs ;
- Organiser des présentations détaillées aux communes pilotes, du contexte, des objectifs, des travaux et des résultats des deux volets du COMOP (concertation et exposition). Ces présentations pouvant être étendues à toute autre commune.
- à l'achèvement des expérimentations prévues, étudier l'opportunité de nouvelles dispositions législatives ou réglementaires visant à :
 - rendre obligatoire le contact écrit des opérateurs avec le maire dès la phase de recherche d'un projet ;
 - rendre obligatoire la transmission d'un dossier d'information sur tout projet d'antenne relais par l'opérateur à la mairie, un mois avant le dépôt de la demande d'autorisation d'urbanisme, délai pouvant être porté à deux mois à la demande écrite du maire ;
 - généraliser les instances de concertation départementales présidées par le préfet de département, qui deviendront des instances de médiation ;
 - informer systématiquement les occupants du bâtiment lors d'une implantation d'antenne relais de téléphonie mobile, dans un délai maximum de quinze jours avant l'installation de l'antenne ;
 - étendre les données obligatoirement fournies par l'opérateur dans le cadre du dossier Comsis remis à l'ANFR et du dossier d'information remis au maire (puissance, diagramme d'antenne, tilt, azimuth...).
- subventionner toutes les collectivités pilotes qui le souhaiteront afin qu'elles puissent acquérir des dosimètres permettant une mesure simple des champs.

Recommandations relatives au volet exposition

- poursuivre la réalisation des états des lieux, des simulations numériques de l'abaissement de puissance des antennes relais et de plusieurs expérimentations terrain de la baisse du niveau d'exposition assortie d'un contrôle des points les plus exposés sur l'ensemble des villes pilotes, propositions de quelques solutions de reconfiguration.
- consolider l'ensemble des résultats des travaux techniques dans un document synthétique et pédagogique à l'attention des élus locaux et du grand public.
- présenter les résultats des travaux techniques aux communes pilotes
- définir les zones concernées par l'existence de potentiels points atypiques.
- sur la base de cette définition et des mesures de champs récentes disponibles sur le site Cartoradio, recenser d'ici fin 2012 les points atypiques du territoire national en application de la loi Grenelle 2 et s'engager vers une réduction effective du nombre de points atypiques.
- mettre effectivement en place, dès 2012, le dispositif de surveillance des champs électromagnétiques instauré par les lois Grenelle permettant notamment à toute personne souhaitant connaître le niveau des champs électromagnétiques dans son logement à proximité d'une antenne relais de le faire mesurer gratuitement par un organisme accrédité indépendant.
- publier un guide d'identification et de résorption des configurations atypiques à destination des opérateurs et des collectivités, d'une part pour éviter la création de nouveaux points atypiques, et d'autre part pour permettre une seconde voie de recensement des points atypiques plus complexe mais plus précise, en vue de résorber l'existant.
- réaliser progressivement des campagnes de mesures annuelles à l'initiative de l'Etat ciblées sur des configurations potentiellement atypiques.
- mener une réflexion pour prévenir la création de points atypiques dans le cas de l'implantation d'un nouveau bâtiment à proximité d'une antenne (en lien avec les services en charge de l'urbanisme).
- maintenir à niveau l'outil de simulation et engager des travaux de simulation de l'impact d'antennes 4G.
- envisager, sur la base des mesures constatées, de faire un état des lieux comparé au niveau européen de la situation réelle au regard de la pertinence des normes en vigueur.
- confier l'animation et le suivi de l'ensemble de ces travaux à une instance technique, ouverte à toutes les parties prenantes et pilotée par l'ANFR et l'administration.

ANNEXE B : GLOSSAIRE

ANFR

Agence nationale des fréquences

Antenne relais

Une antenne relais est un émetteur-récepteur d'ondes radio. Elle fait le pont entre le téléphone mobile et le réseau de télécommunication. Le maillage d'antennes relais assure, sur le territoire, la couverture au sein de laquelle il est possible de téléphoner avec un portable.

Également appelée « site radioélectrique », « station de base » ou « relais hertzien », elle est composée :

- d'une ou plusieurs antennes, qui sont obligatoirement installées en hauteur sur un support (mât ou pylône sur un immeuble ou pylône). Les antennes de téléphonie mobile sont des émetteurs-récepteurs;
- d'équipements radio et de transmission ;
- de matériel électrique, ainsi que d'un local, d'un abri sécurisé ou d'armoires techniques.

Dans la grande majorité des cas, les seules parties visibles de l'antenne relais sont les antennes et leur support. Par ailleurs, ces antennes relais sont raccordées au reste du réseau par liaison filaire ou hertzienne.

Il existe différents types d'antennes : microcellulaires, macrocellulaires, omnidirectionnelles...

ARCEP

Autorité de régulation des communications électroniques et des postes

Azimut

Direction principale de propagation des ondes émises par l'antenne dans le plan horizontal.

BSIC (Base Station Identity Code)

Code d'identification d'une station de base GSM.

BCCH (Broadcast Control Channel)

Canal pilote en GSM.

Cellule

Il s'agit de la zone géographique, dont la superficie peut atteindre plusieurs kilomètres carrés, couverte par une antenne relais, laquelle permet de faire le lien entre les téléphones mobiles et le réseau.

Lorsqu'une antenne émet un signal radioélectrique, celui-ci est perçu dans une zone appelée la cellule dont la géométrie et la taille varient en fonction de la fréquence utilisée, de la puissance d'émission et de la topologie de la zone de couverture.

Colocalisation/ Mutualisation

Lorsqu'ils utilisent une même infrastructure, les opérateurs de télécommunications peuvent

- soit occuper un support ne leur appartenant pas (château d'eau, clocher d'une église, bâtiment) : il s'agit de colocalisation ;
- soit occuper un support appartenant à l'un d'entre eux : il s'agit alors de mutualisation.

COMSIS

La Commission des sites et servitudes (COMSIS) est l'une des commissions consultatives de l'Agence nationale des fréquences (ANFR). Elle contribue notamment à l'instruction des accords que l'Agence doit donner pour l'implantation d'émetteurs radioélectriques. La procédure COMSIS aboutit à donner, ou à refuser, un accord à l'implantation d'un émetteur sur la base d'un dossier déposé par l'exploitant de la station.

Couverture

En téléphonie mobile, zone géographique dans laquelle le service d'un opérateur de téléphonie mobile est disponible.

Décibel (dB)

Unité de mesure de niveaux relatifs de puissance, utilisée en traitement du signal (acoustique, électrique, radioélectricité etc). Le nombre de décibels est égal à 10 fois le logarithme décimal du rapport entre la puissance mesurée A1 et la puissance de référence A2 soit $10\log(A1/A2)$.

dBm

Le dBm correspond au décibel pour une puissance de référence de 1 mW. Ci-après un tableau de conversion :

Puissance	équivalent en dBm
10 W	40
1 mW	0
500 mW	27
250 mW	24
2 W	33
25 W	44
1000 W	60

DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone)

Norme de téléphonie sans fil, fonctionnant dans la bande des 1800 MHz. Le DECT permet d'offrir des services de téléphonie de proximité autour d'un poste résidentiel.

Emetteur

Appareil destiné à produire des signaux radioélectriques et à les fournir à une antenne en vue d'une radiocommunication. Une même antenne peut ainsi contenir plusieurs émetteurs.

Équipement terminal

Tout équipement destiné à être connecté directement ou indirectement à un point de terminaison d'un réseau en vue de la transmission, du traitement ou de la réception d'informations.

G (2G/3G/4G)

Dénomination d'une génération donnée de système mobile, chacune reposant sur une ou plusieurs normes.

Génération de système mobile	Norme
2G	GSM
3G	UMTS
4G	LTE

Gain (d'une antenne)

Rapport généralement exprimé en décibels, entre la puissance fournie à l'entrée d'une antenne théorique sans pertes isotrope isolée dans l'espace et la puissance nécessaire à l'entrée de l'antenne considérée, pour que les deux antennes produisent dans une direction donnée le même champ ou la même puissance surfacique, à la même distance. En l'absence d'indication contraire, il s'agit du gain de l'antenne dans la direction du maximum de rayonnement.

GSM (Global System for Mobile)

Standard de téléphonie mobile qui permet de transmettre essentiellement de la voix et des données de petites tailles, comme les SMS (pour Short Message Service) ou messages courts (débit : 6kb par seconde). Les fréquences utilisées sont dans des bandes autour de 900 et 1 800MHz. Cette norme est également désignée sous l'appellation 2G.

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)

Evolution de la téléphonie mobile de 3^e génération (UMTS) permettant une augmentation du débit de transmission dans le sens descendant essentiellement dans la bande autour de 2000 MHz.

LTE (Long Term Evolution)

C'est le nom de la première norme de réseau mobile de quatrième génération (4G). Elle apparaît comme étant l'évolution des réseaux cellulaires 2G (GSM) et 3G (UMTS).

Macrocellulaire

Le déploiement d'un réseau cellulaire s'effectue d'abord par un « pavage » du territoire au moyen d'antennes macrocellulaires (de taille plutôt importante, mais ne permettant d'écouler qu'une partie du trafic). Elles sont en général installées au niveau des toits, ou à la campagne, sur des pylônes.

Microcellulaire

Les antennes microcellulaires permettent une densification du réseau. En effet, dans les zones à forte densité de population, le taux de pénétration du service de téléphonie mobile est élevé et par conséquent le volume du trafic de communications à écouler est plus important. Elles sont en général installées en façade et en intérieur et correspondent à des PIRE de quelques watts avec des tailles d'antennes inférieures à celles des macrocellules.

Omnidirectionnelle

Se dit d'une antenne dont le diagramme de rayonnement ne présente pas de direction privilégiée dans le plan horizontal.

PIRE

Acronyme de Puissance isotrope rayonnée équivalente. Il s'agit de la puissance de rayonnement moyenne du point d'émission en sortie d'antenne.

Qualité de service (QoS en anglais pour Quality of Service)

L'expression "qualité de service" recouvre des ensembles de plus en plus souvent formalisés de critères permettant d'évaluer le service rendu aussi bien pour la voix que pour le débit en transmission de données.

Les opérateurs ont pour obligation d'assurer de manière permanente l'exploitation du réseau, de remédier dans les plus brefs délais aux défaillances, de garantir une qualité et une disponibilité de service satisfaisantes. L'opérateur doit aussi mesurer les indicateurs de qualité de service définis par l'ARCEP et les mettre à disposition du public.

RFID (Radio Frequency Identification)

Système d'identification par radiofréquence.

Site

Lieu accueillant les équipements radioélectriques : bâtiment, abri extérieur...

Station de base

C'est la pierre angulaire du réseau de téléphonie mobile. Chaque cellule dispose de sa propre station de base, laquelle comprend une antenne relais et une armoire électronique pour gérer les appels cellulaires.

Tilt

Inclinaison de la direction principale des ondes émises par l'antenne dans un plan vertical.

TRX

Élément permettant de passer un nombre de communication fixé, sur un canal donné en GSM.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Standard de téléphonie mobile qui permet de transiter, non seulement de la voix, mais aussi des données (géolocalisation ; m-commerce, c'est-à-dire commerce à partir d'un téléphone mobile ; navigation Internet ; visioconférence...) (débit moyen : 250 kb par seconde).

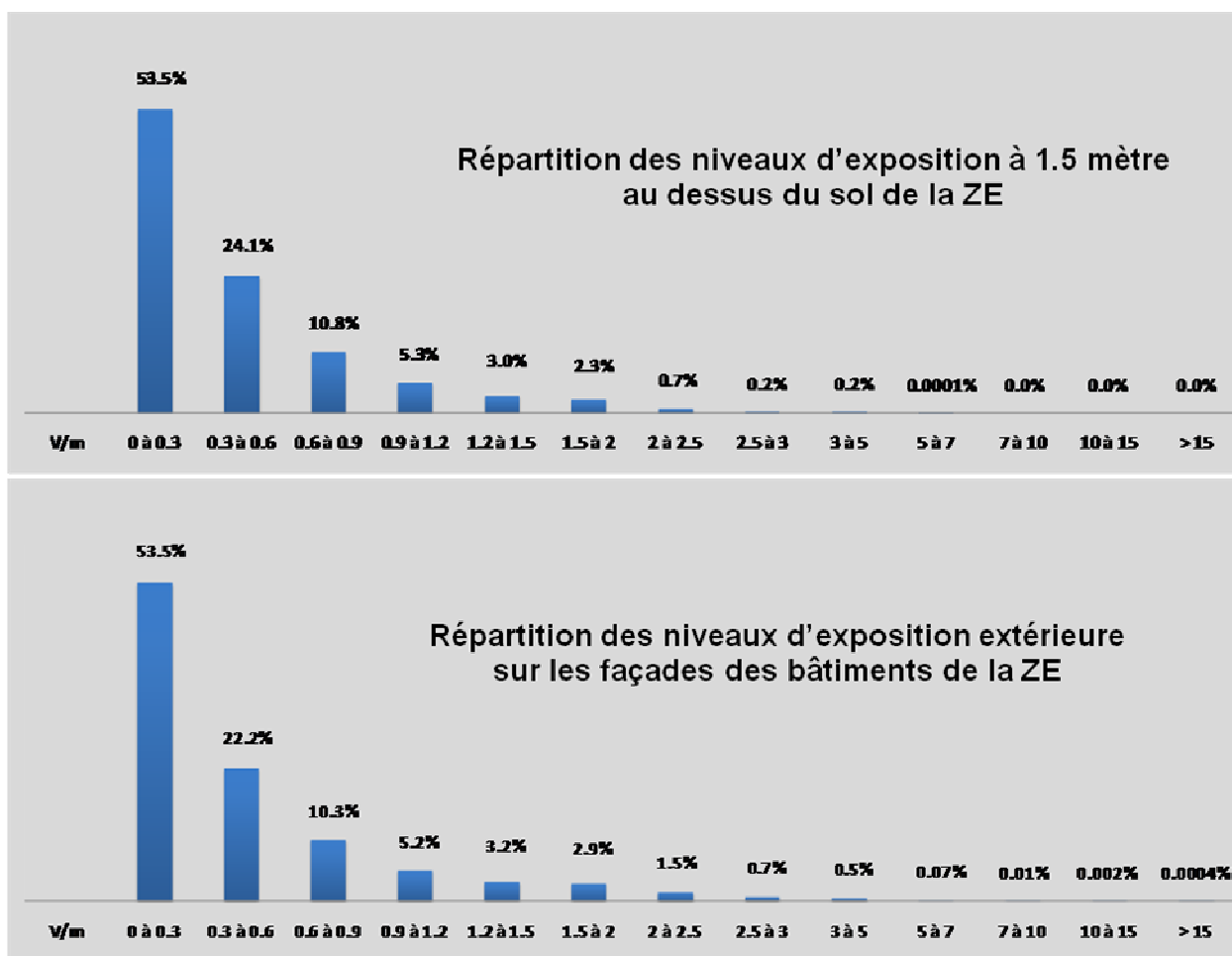
WiFi (Wireless Fidelity)

Utilisé pour des liaisons sans fil de courte portée notamment pour accéder à Internet dans les bandes 2,4 et 5 GHz.

ANNEXE C : RESULTATS SYNTHETIQUES DES EXPERIMENTATIONS VILLE PAR VILLE

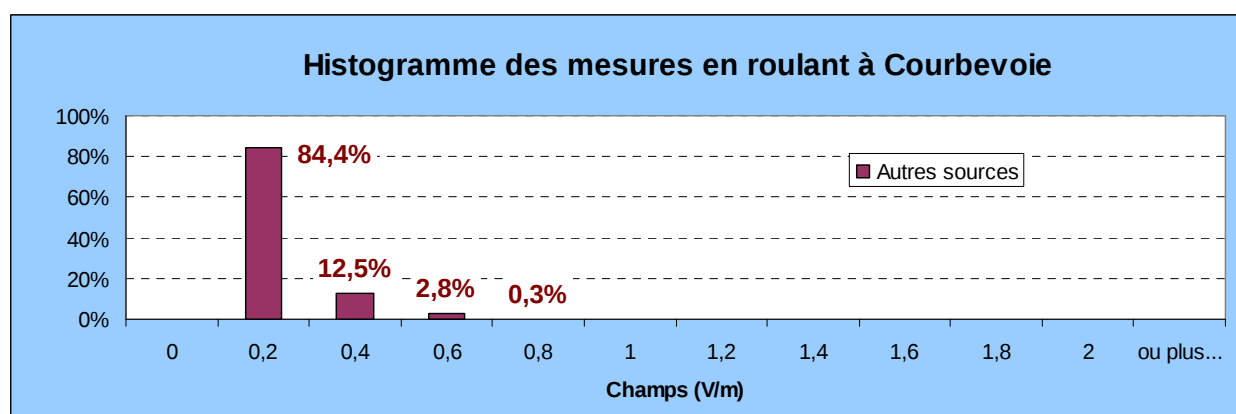
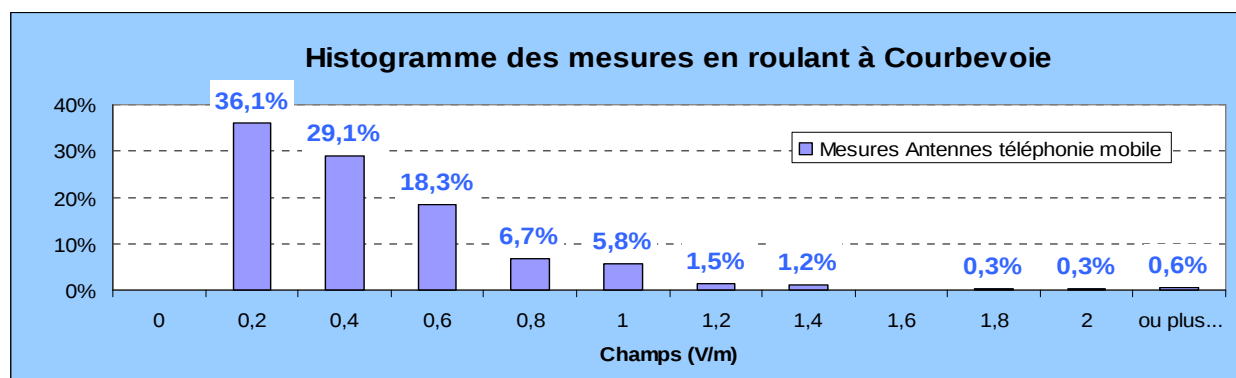
COURBEVOIE

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	5,6
Façade	15,4
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,5
Façade	0,5
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,4
Façade	0,3

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

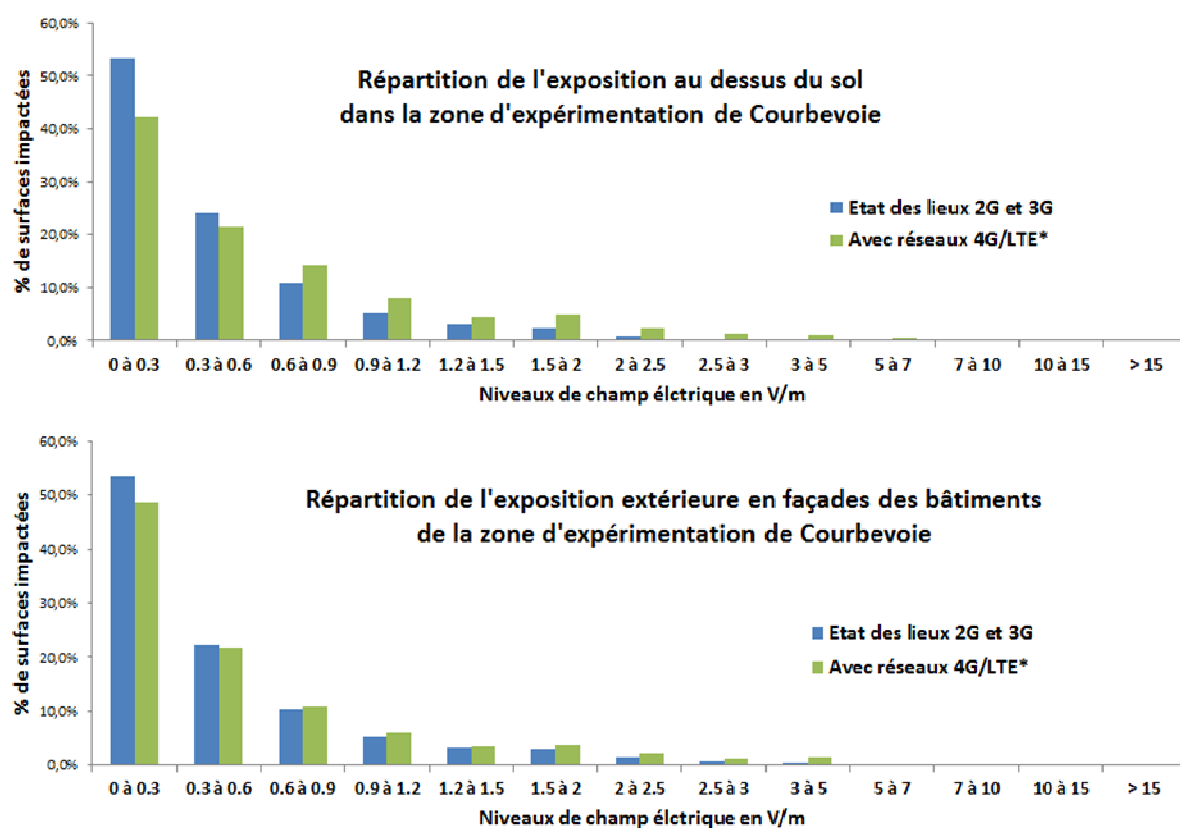


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

	BYT (EDL)		BYT (réduction à 0,6)		ORA (EDL)		ORA (réduction à 0,6 V/m)		SFR (EDL)		SFR (réduction à 0,6 V/m)	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	900	3G
EXTERIEUR	99.99%	93.47%	87.72 %	79.46 %	99.87%	94.38%	86.68%	63.28%	99.97%	94.34%	88.63%	85.63%
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	67.80%	56.71%	20.67 %	19.25 %	73.80%	65.13%	22.67%	24.53%	76.93%	73.21%	20.64%	34.56%
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	49.50%	43.59%	11.71 %	14.24 %	55.23%	50.58% 0.31km²	14.16%	17.53%	58.69%	55.41%	11.83%	27.87 %

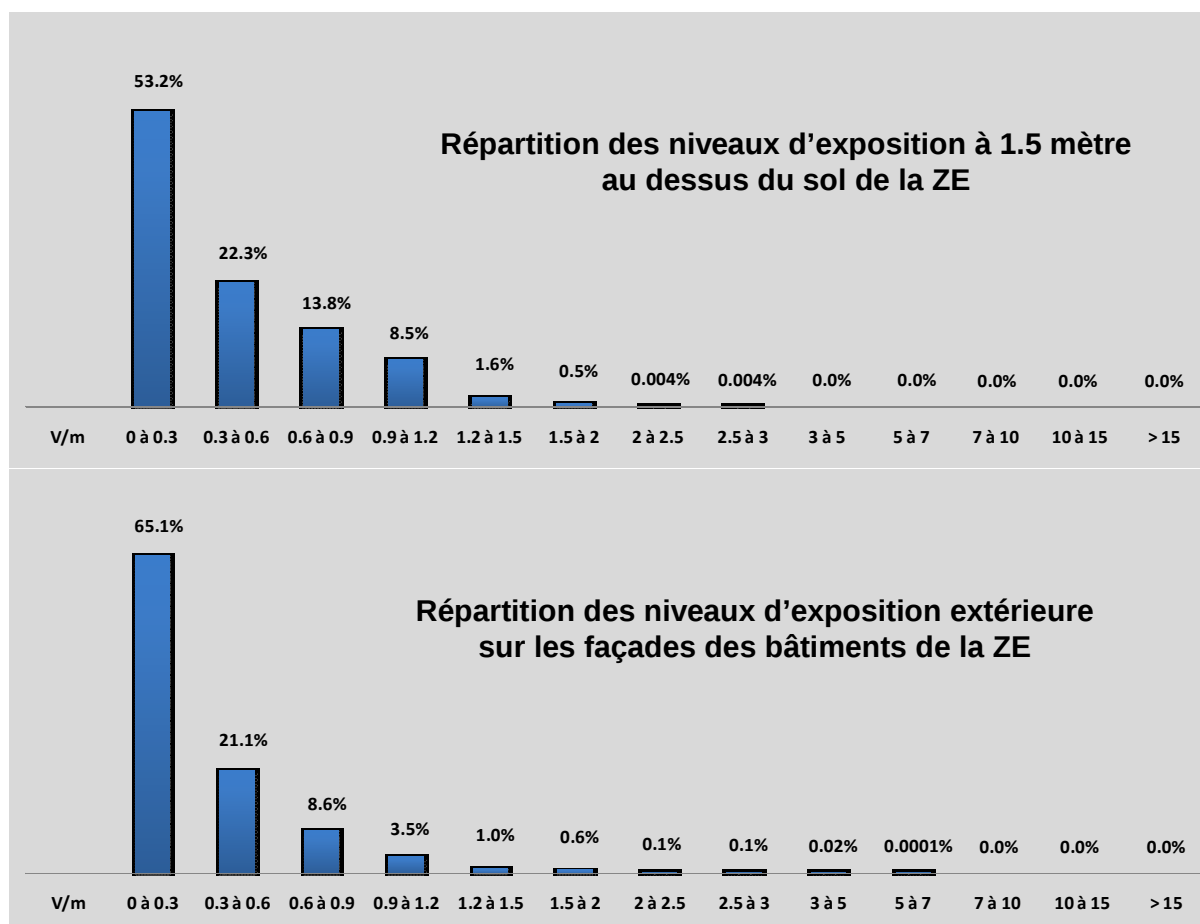
impact sur la couverture 2G et 3G d'une diminution de l'exposition à 0,6 V/m

Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)



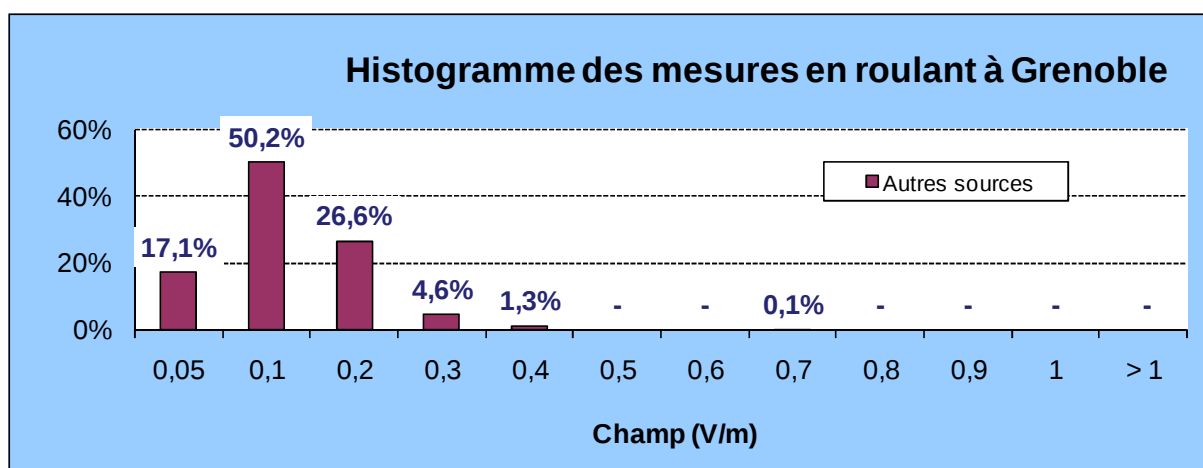
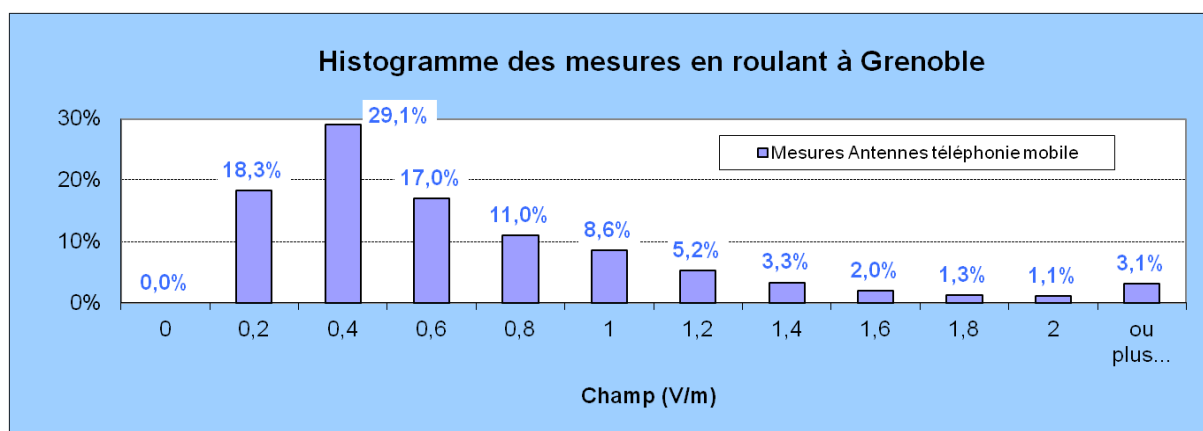
GRENOBLE

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	2,7
Façade	5,0
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,4
Façade	0,3
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,3
Façade	0,2

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

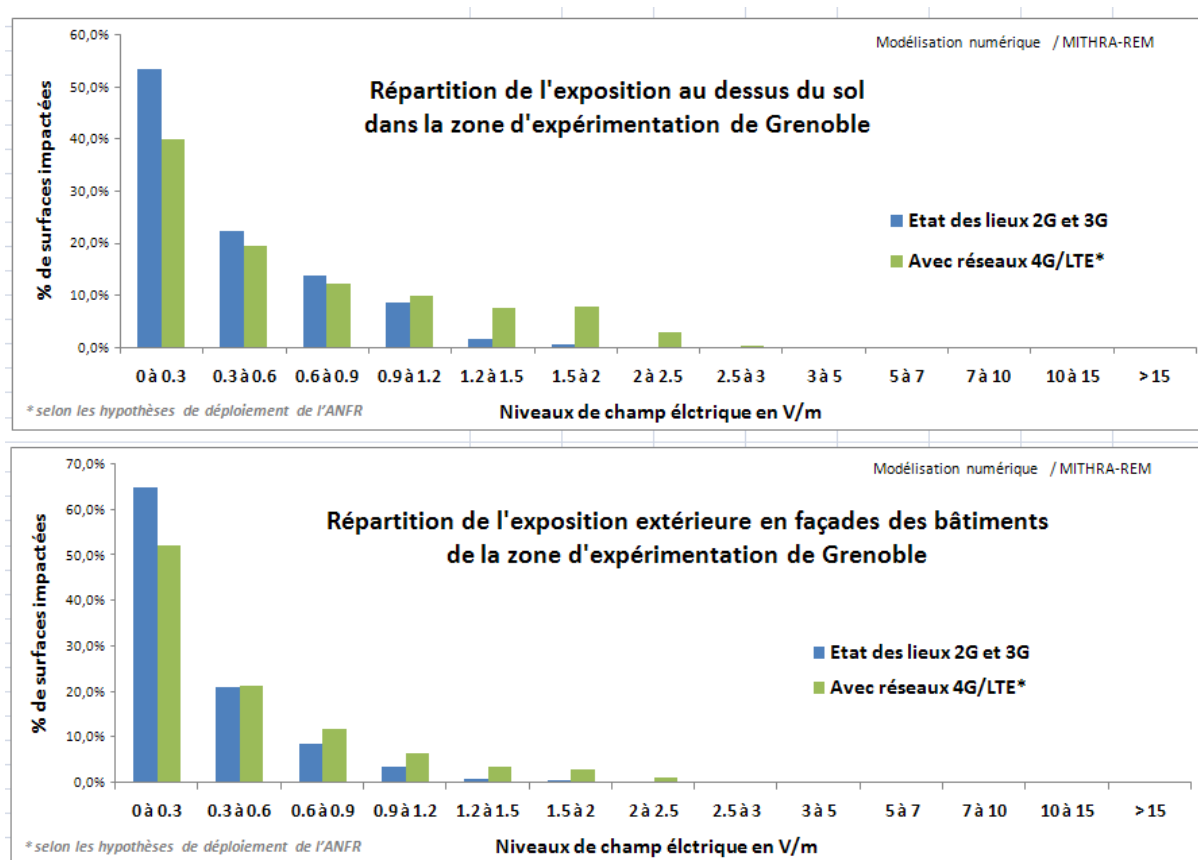


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

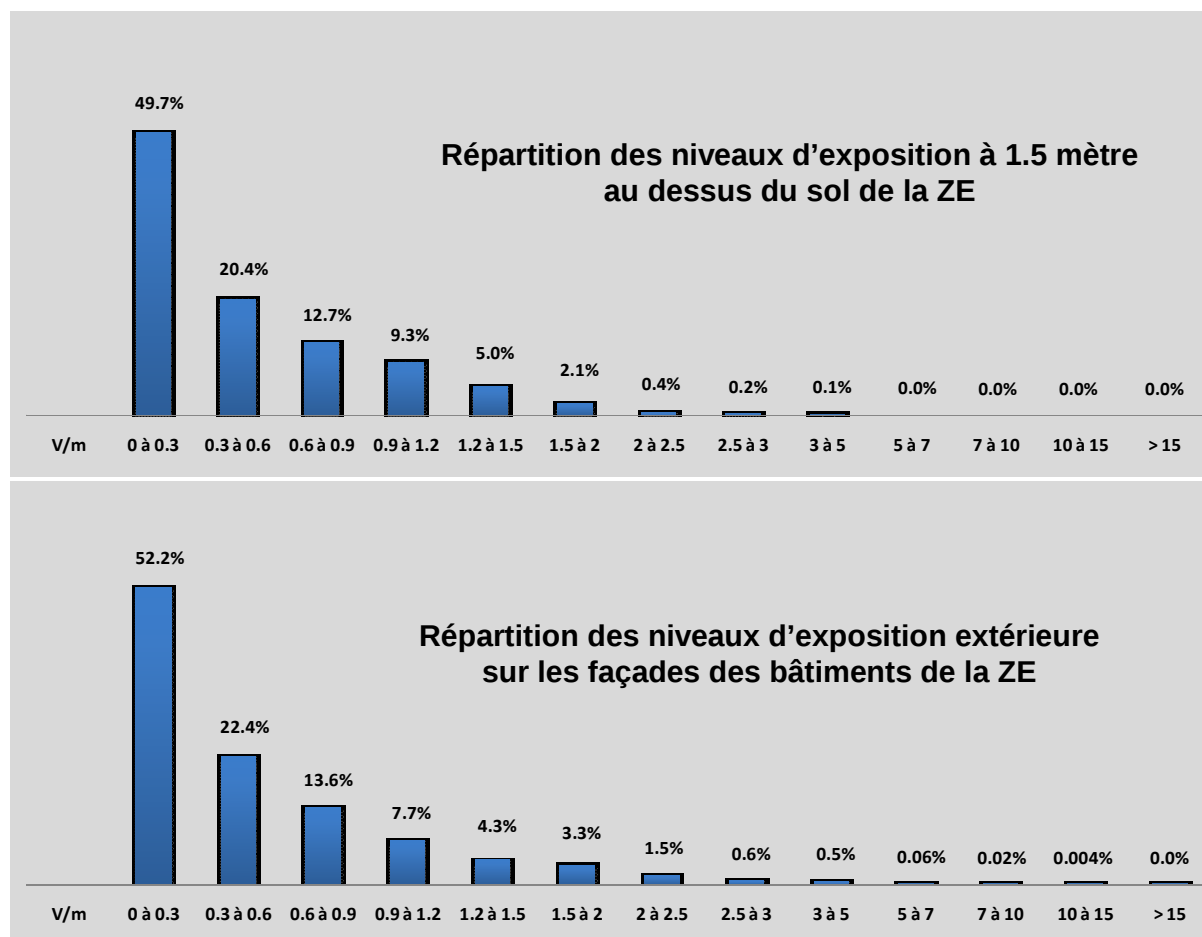
	BYT (EDL)		BYT (réduction à 0,6)		ORA (EDL)		ORA (réduction à 0,6 V/m)		SFR (EDL)		SFR (réduction à 0,6 V/m)	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G
EXTERIEUR	100.00%	100%	97.62 %	99.03 %	100.00%	100%	98.65 %	92.97%	100.00%	100%	99.83 %	99.32 %
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	80.82%	72.87 %	40.20 %	31.62 %	84.60%	65.10 %	46.05 %	25.06%	86.67%	72.05 %	55.60 %	43.18 %
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	59.41%	50.07 %	27.23 %	21.59 %	68.46%	45.86 %	30.24 %	17.62 %	70.01%	53.92 %	39.94 %	31.96 %

Grenoble : impact sur la couverture 2G et 3G d'une diminution de l'exposition à 0,6 V/m

Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)

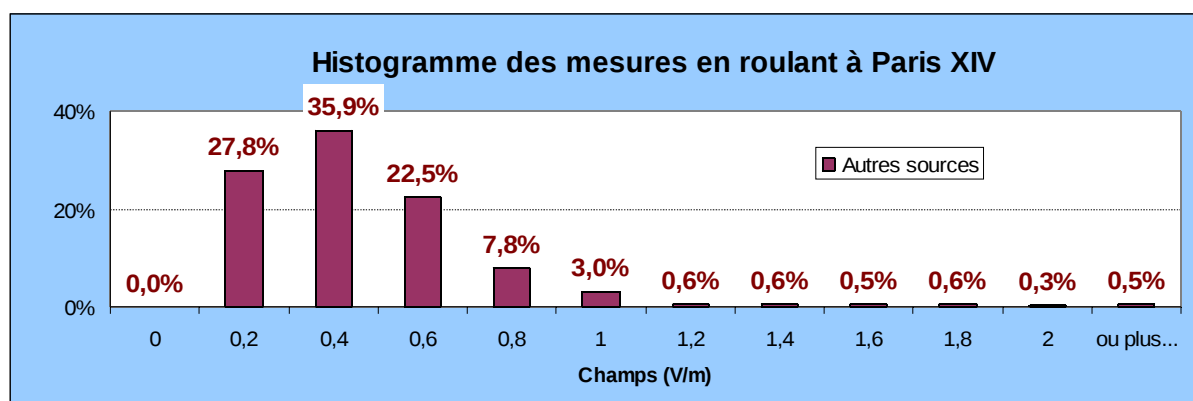
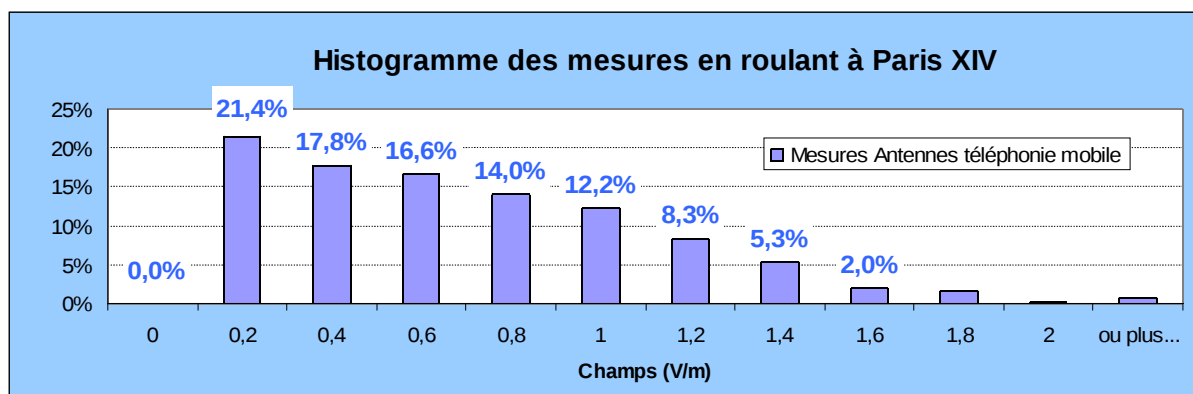


Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	4,8
Façade	12,0
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,6
Façade	0,5
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,5
Façade	0,3

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)



Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

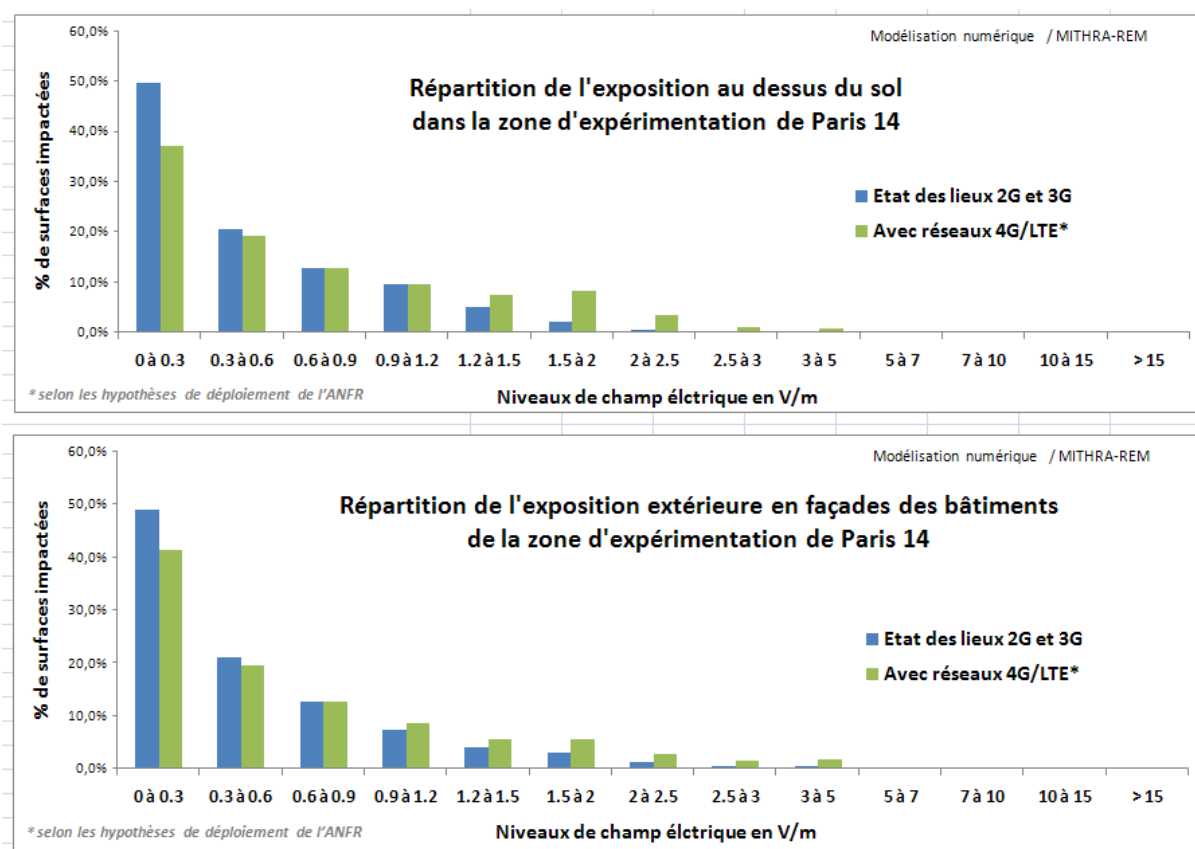
	BYT (EDL)		BYT (réduction à 0,6)		ORA (EDL)		ORA (réduction à 0,6 V/m)		SFR (EDL)		SFR (réduction à 0,6 V/m)	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G
EXTERIEUR	100.0 %	99.77 %	99.27 %	99.76 %	100.0 %	99.77 %	93.79 %	75.63 %	100.0 %	99.77 %	91.49 %	99.57 %
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	71.5 %	58.12 %	12.93 %	16.48 %	87.8 %	42.71 %	14.58 %	7.36 %	61.6 %	72.73 %	11.35 %	25.22 %
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	46.5 %	32.66 %	7.4 %	9.75 %	68.2 %	23.12 %	8.55 %	4.28 %	39.7 %	38.85 %	6.98 %	12.10 %

Paris 14^{ème} : impact sur la couverture 2G et 3G d'une diminution de l'exposition à 0,6 V/m

	BYT (EDL)		BYT (réduction à 1)		ORA (EDL)		ORA (réduction à 1 V/m)		SFR (EDL)		SFR (réduction à 1 V/m)	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G
EXTERIEUR	100.0 %	99.77 %	99.97 %	99.77 %	100.0 %	99.77 %	98.83 %	94.00 %	100.0 %	99.77 %	97.88 %	99.77 %
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	71.5 %	58.12 %	20.72 %	23.28 %	87.8 %	42.71 %	22.28 %	10.53 %	61.6 %	72.73 %	16.92 %	31.06 %
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	46.5 %	32.66 %	12.10 %	14.09 %	68.2 %	23.12 %	13.17 %	6.96 %	39.7 %	38.85 %	10.22 %	17.23 %

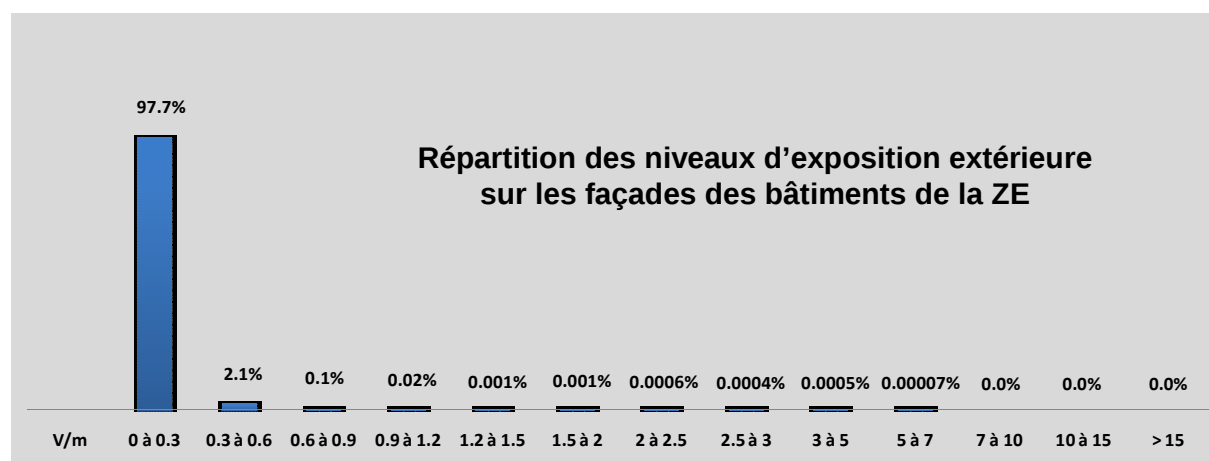
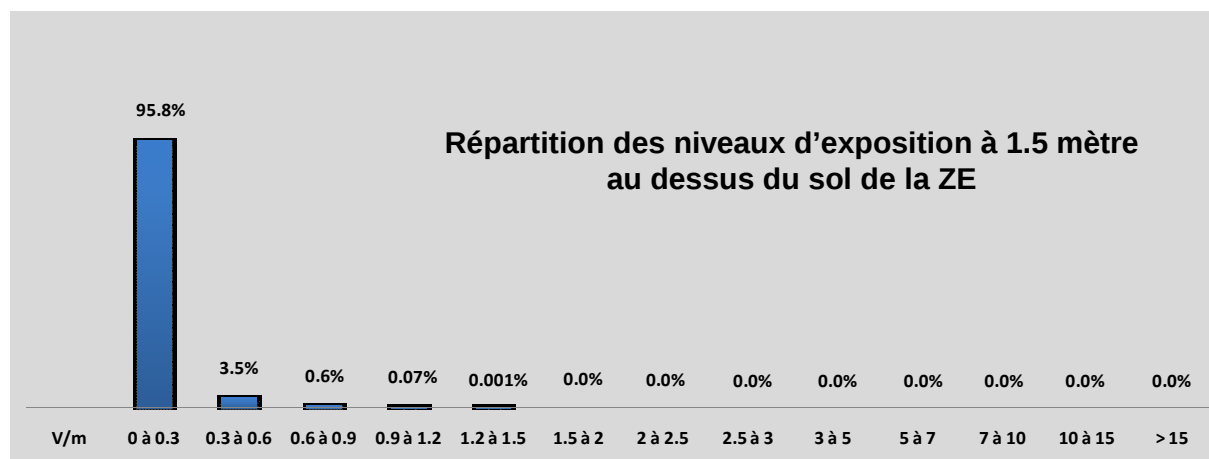
Paris 14^{ème} : impact sur la couverture 2G et 3G d'une diminution de l'exposition à 1 V/m

Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)



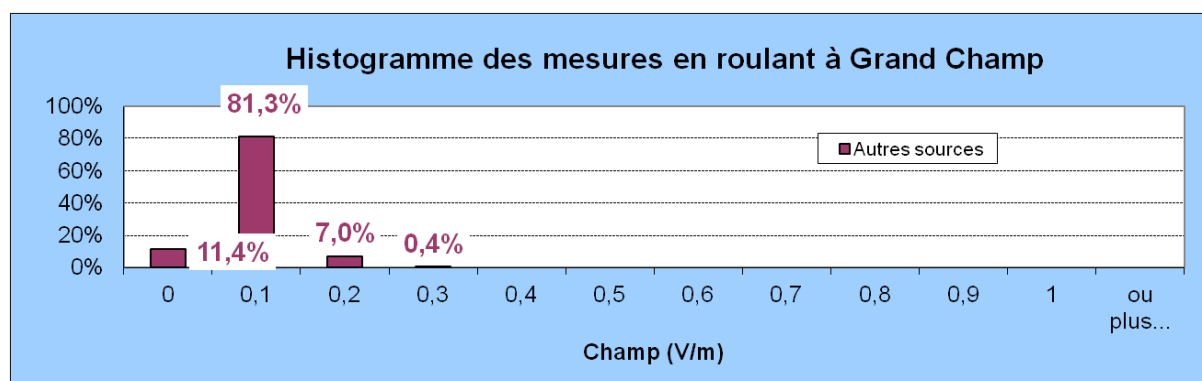
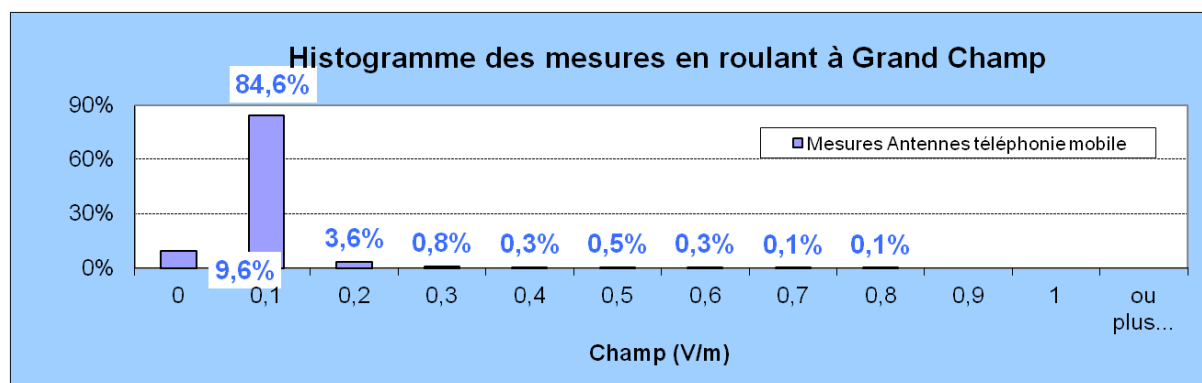
GRAND-CHAMP

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	1,3
Façade	5,1
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,1
Façade	0,1
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,1
Façade	0,0

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

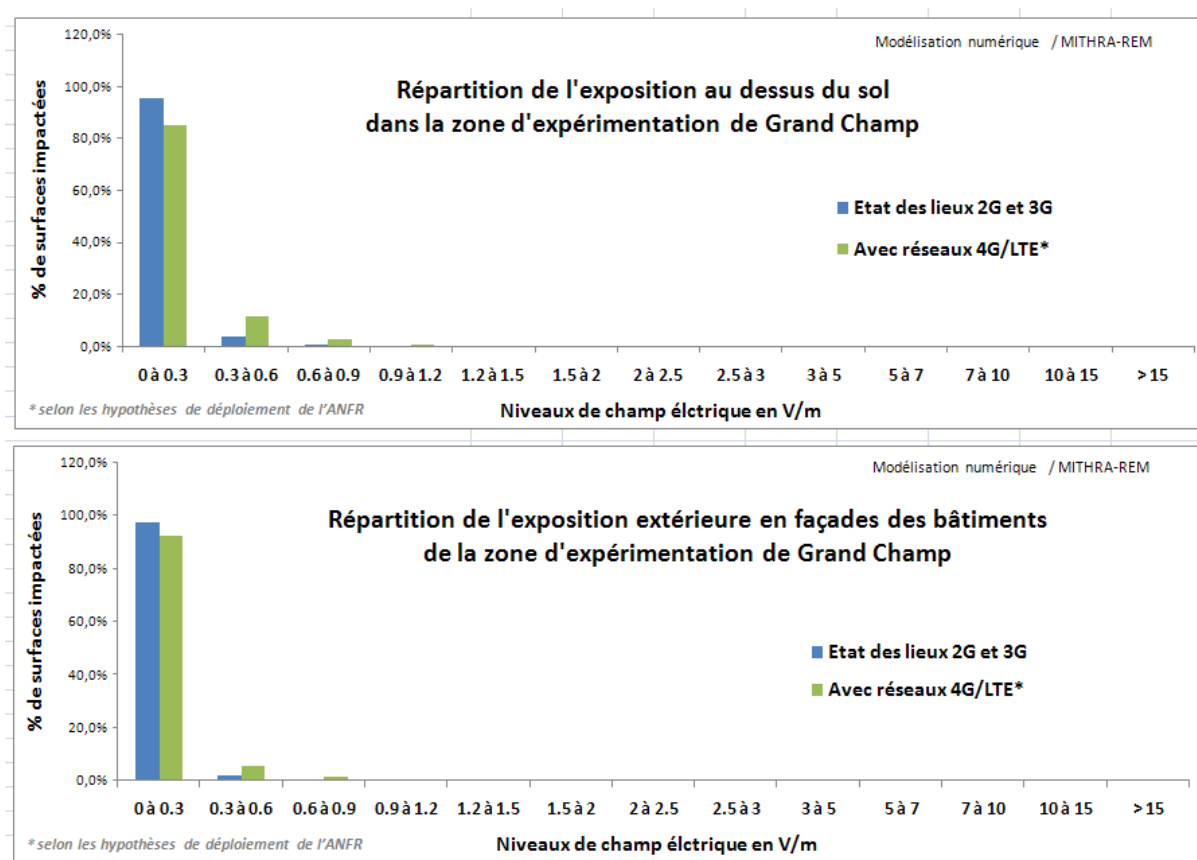


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

	BYT (EDL)		BYT (réduction à 0,6)		ORA (EDL)		ORA (réduction à 0,6 V/m)		SFR (EDL)		SFR (réduction à 0,6 V/m)	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G
EXTERIEUR	94.85%	56.12 %	89.72 %	44.64 %	97.23%	97.51 %	90.86 %	94.49 %	97.43%	78.76 %	94.52 %	63.25 %
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	56.41%	30.10 %	32.30 %	5.17 %	69.48%	73.61 %	46.62 %	40.42 %	59.57%	35.80 %	37.63 %	9.71 %
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	39.96%	19.34 %	17.11 %	2.69 %	55.20%	61.92 %	29.71 %	23.60 %	42.25%	22.04%	19.96 %	4.08 %

Grand-champ : impact sur la couverture 2G et 3G d'une diminution de l'exposition à 0,6 V/m

Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)



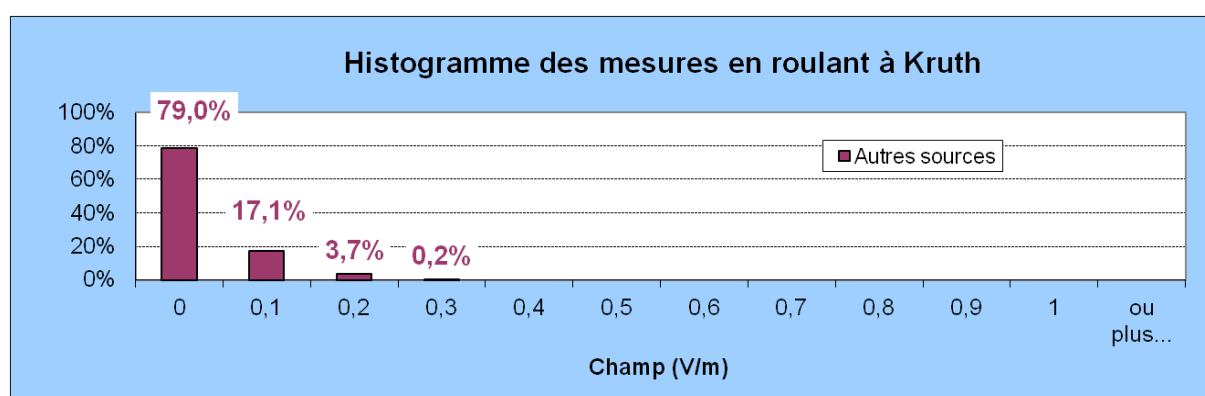
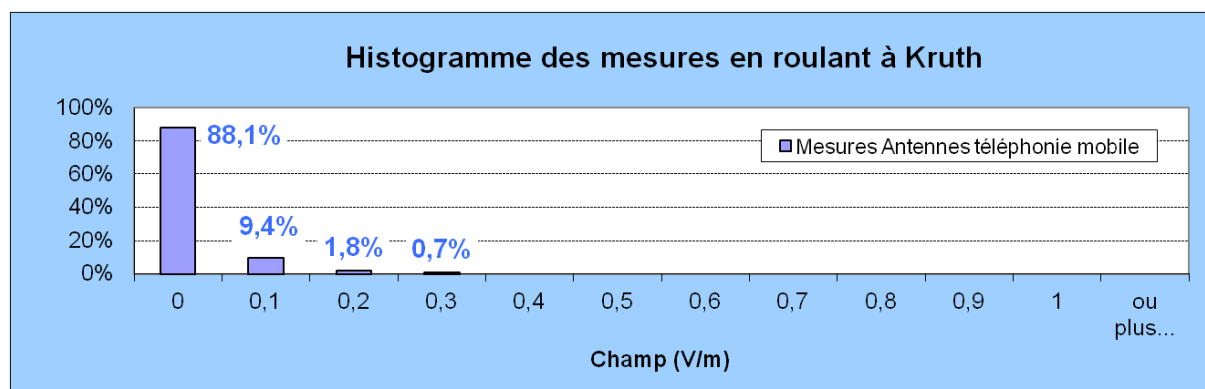
KRUTH

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	4,4
Façade	3,3
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,1
Façade	0,1
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,0
Façade	0,0

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

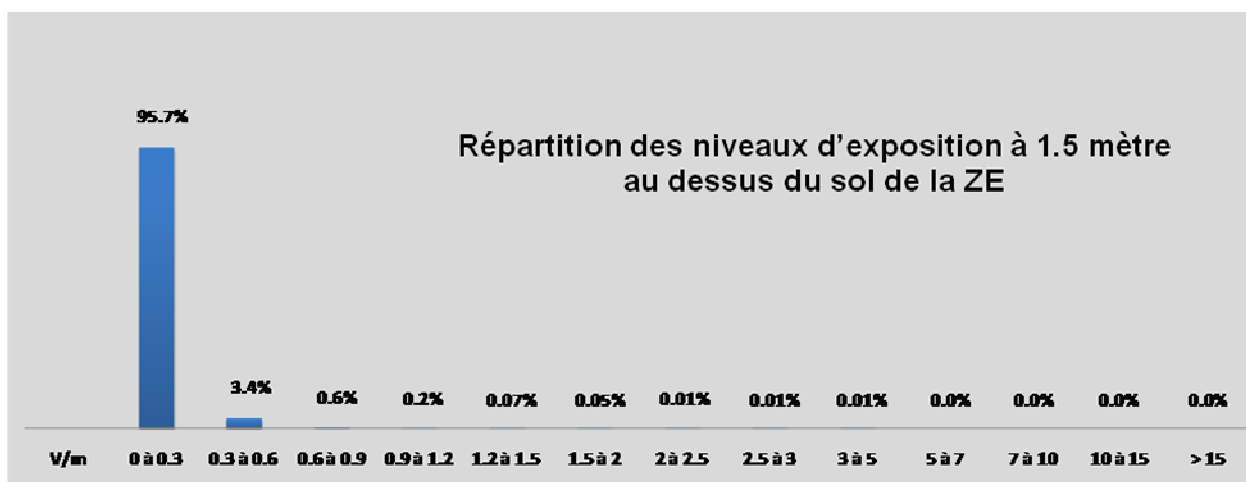


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

Compte tenu du faible niveau d'exposition initial sur cette ville (inférieur à 0,6V/m), ce volet de l'étude s'est avéré sans objet.

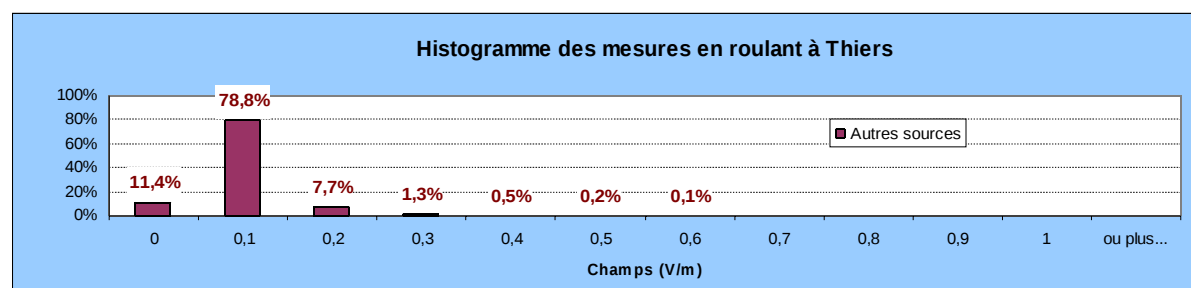
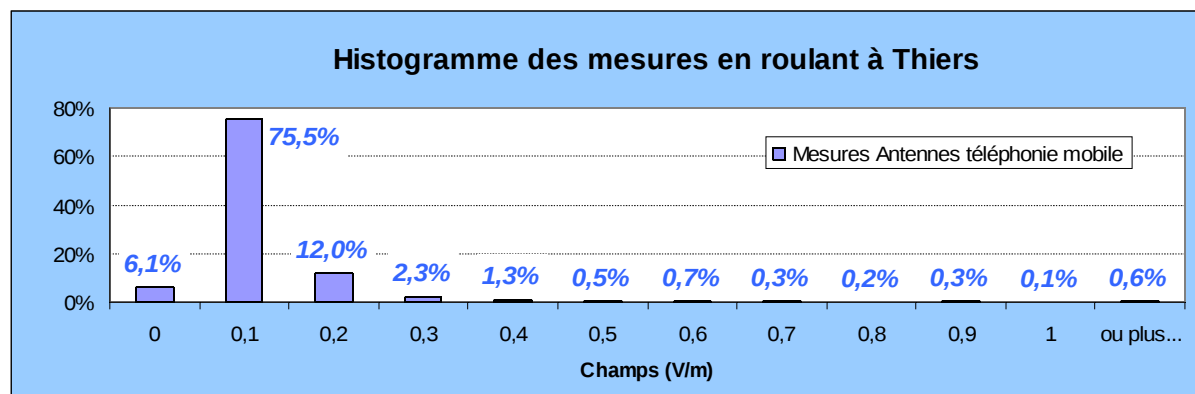
THIERS

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	4,8
Façade	6,5
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,2
Façade	0,1
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,1
Façade	0,1

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

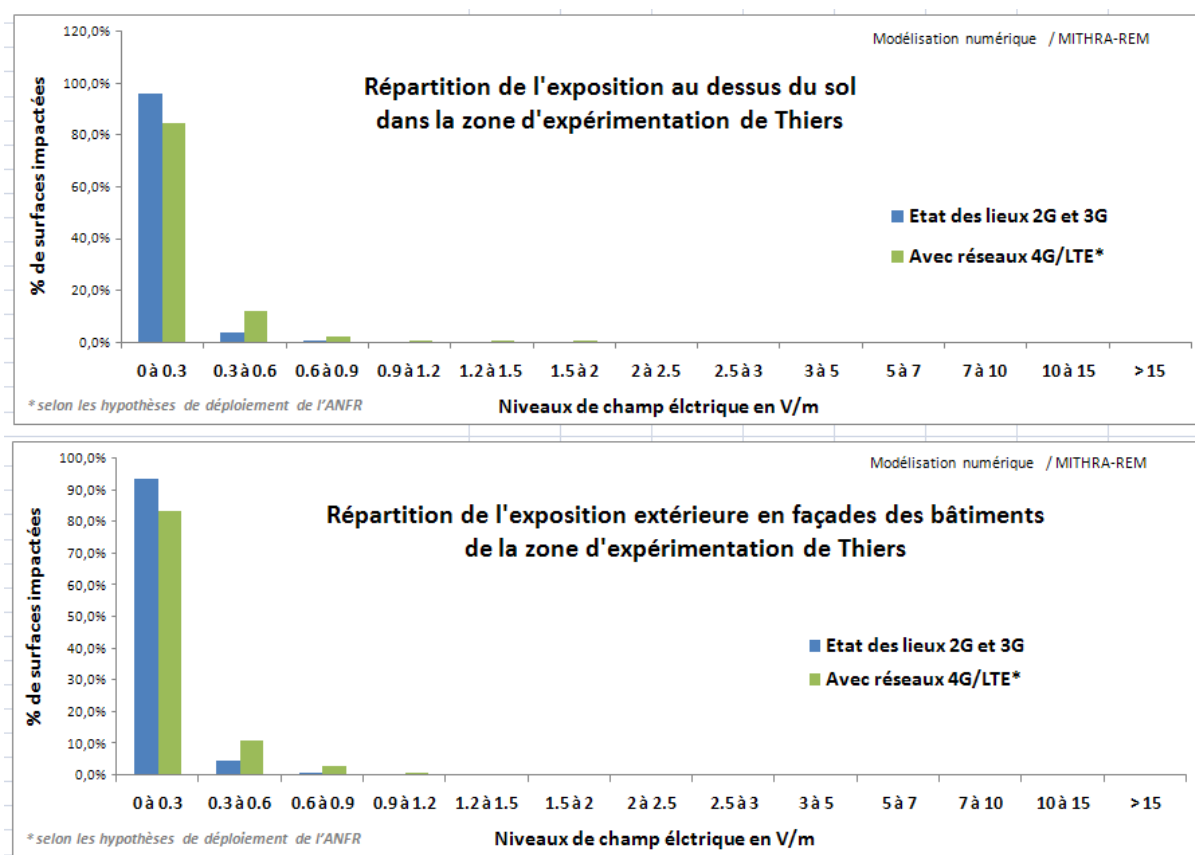


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

	BYT (EDL)		BYT (réduction à 0,6)		ORA (EDL)		ORA (réduction à 0,6 V/m)		SFR (EDL)		SFR (réduction à 0,6 V/m)	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G
EXTERIEUR	99.08%	91.51 %	94.95%	66.50 %	97.74%	81.35 %	48.96 %	48.96 %	98.97%	88.37 %	95.86%	68.82 %
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	80.08%	53.55 %	51.34%	25.29 %	75.34%	44.96 %	16.42 %	16.42 %	76.04%	57.46 %	50.83%	33.44 %
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	66.44%	38.12 %	23.72%	14.24 %	57.34%	32.69 %	10.71 %	10.71 %	61.84%	43.10 %	29.39%	21.72%

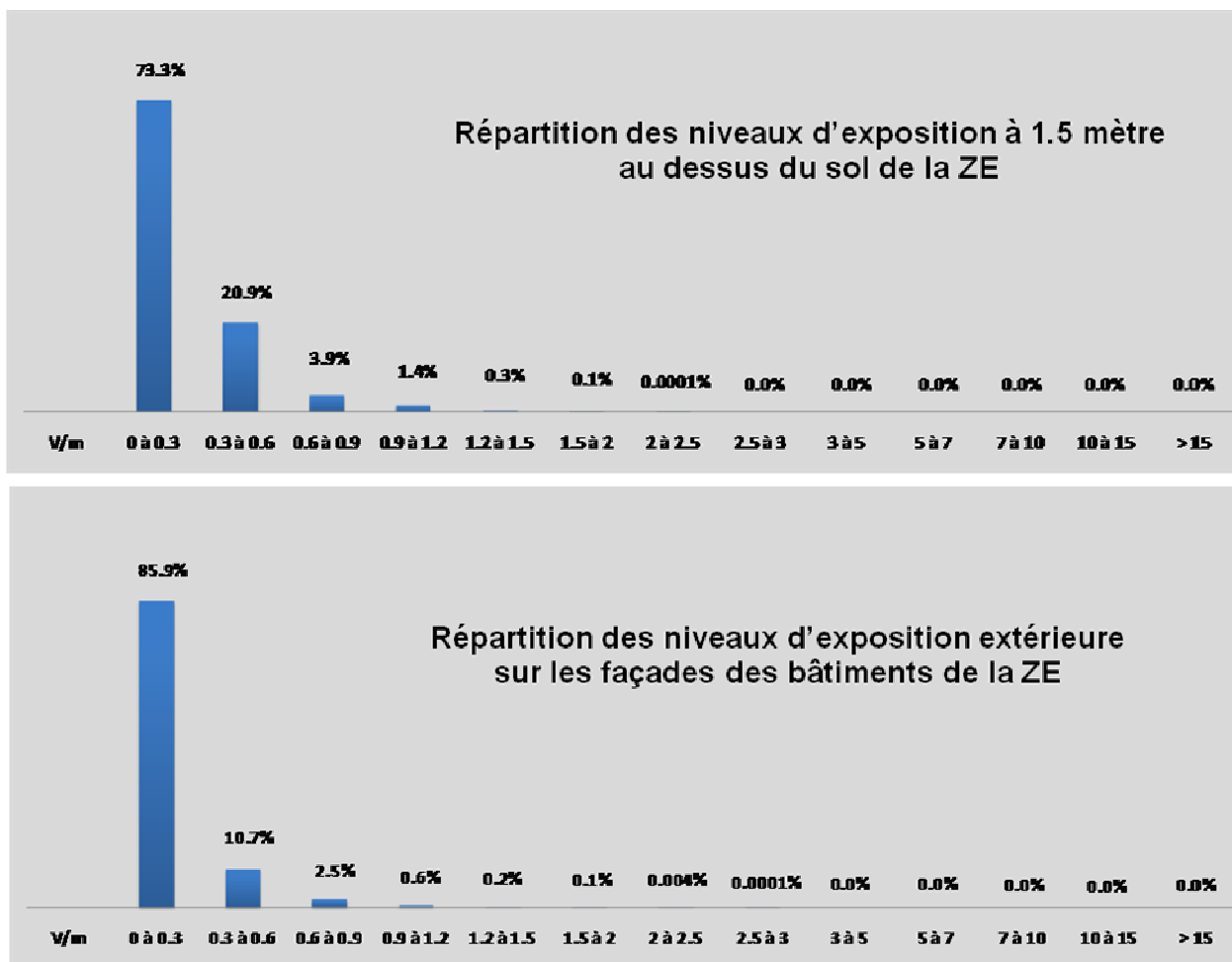
Thiers : impact sur la couverture 2G et 3G d'une diminution de l'exposition à 0,6 V/m

Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)



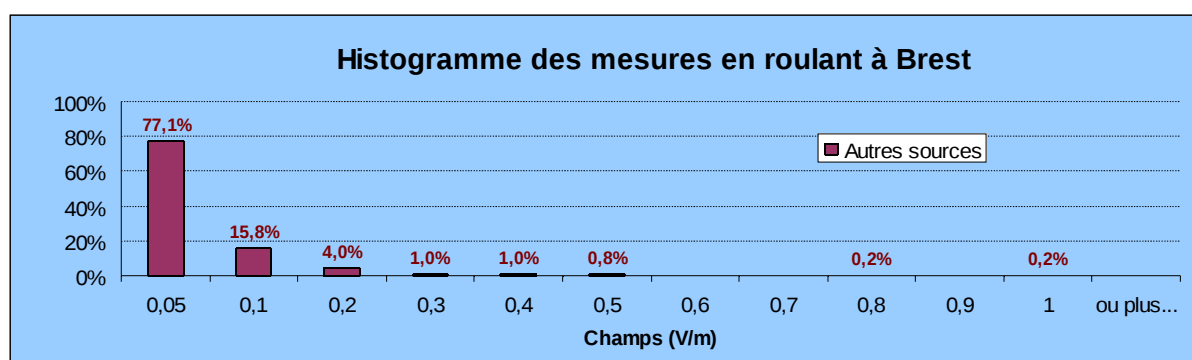
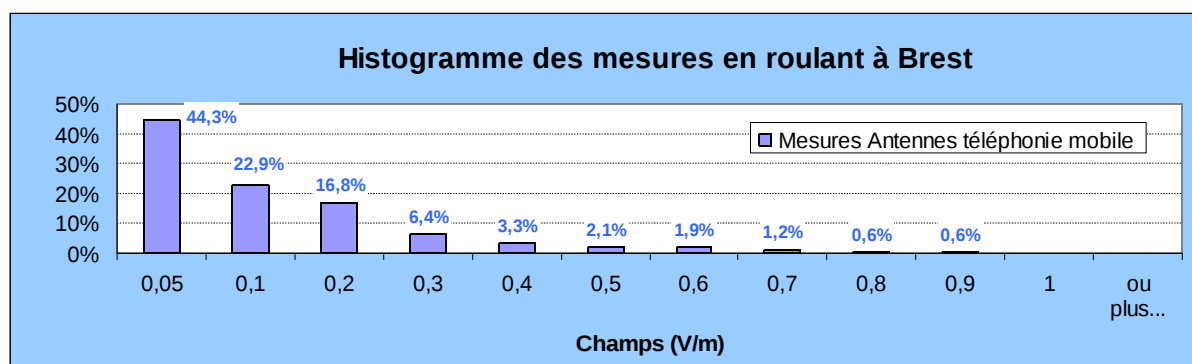
BREST

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	2,3
Façade	2,5
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,4
Façade	0,2
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,3
Façade	0,1

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

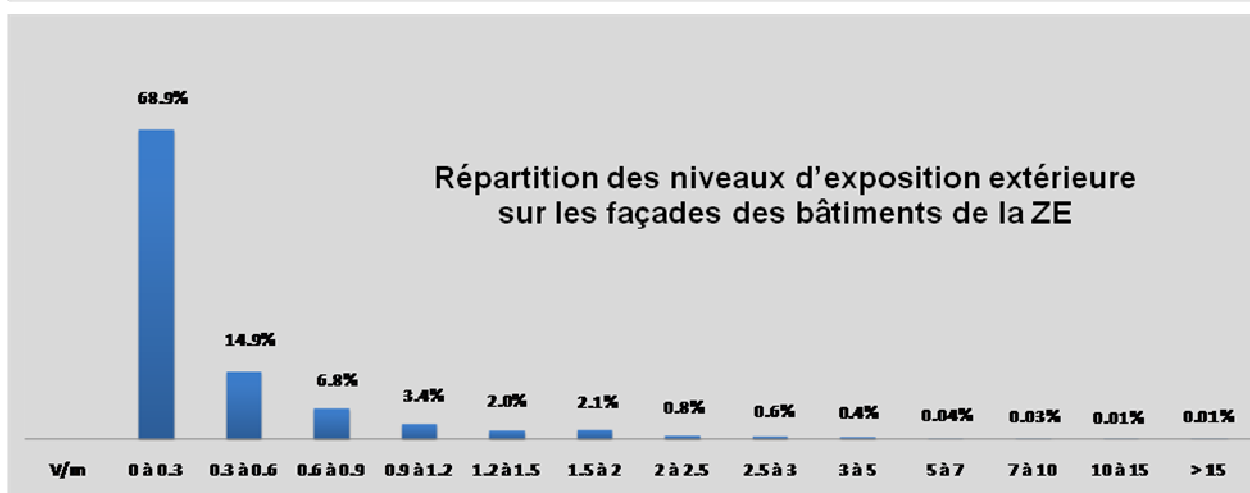
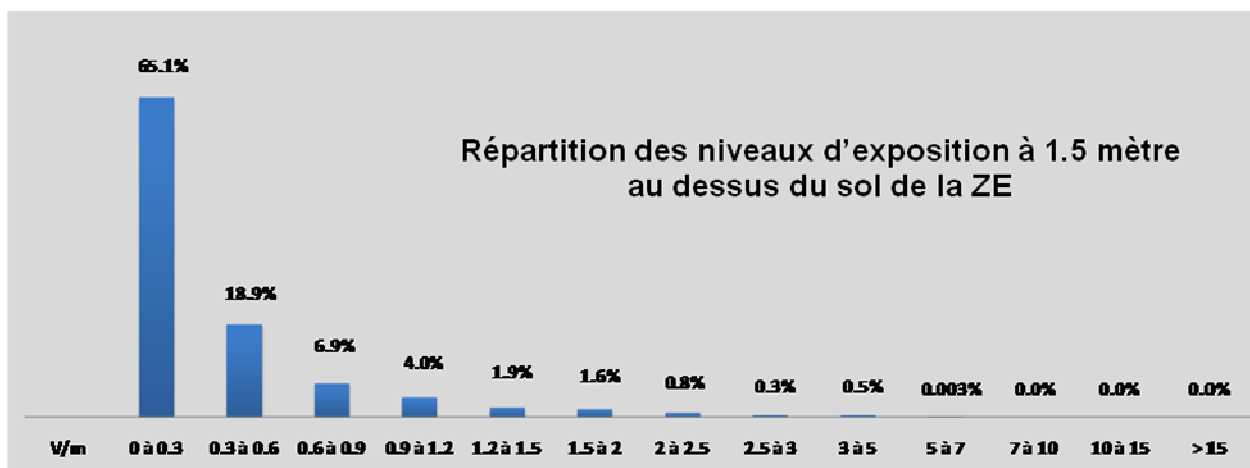


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

Non disponible au moment de l'édition du rapport.

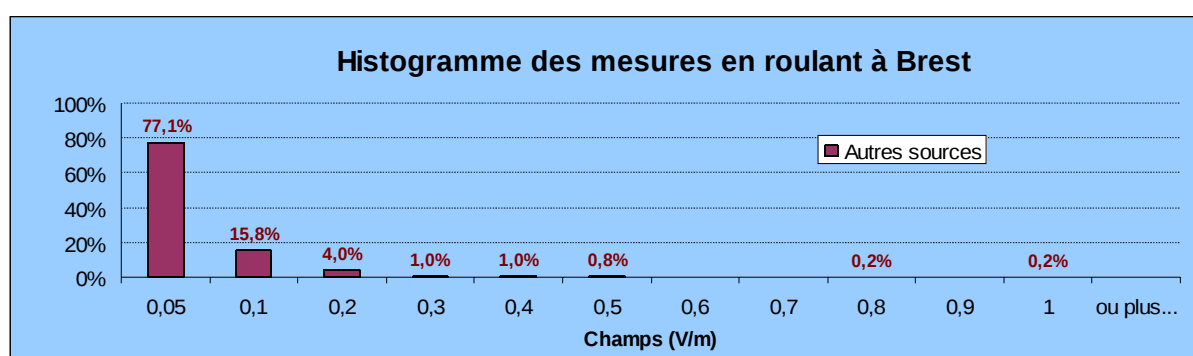
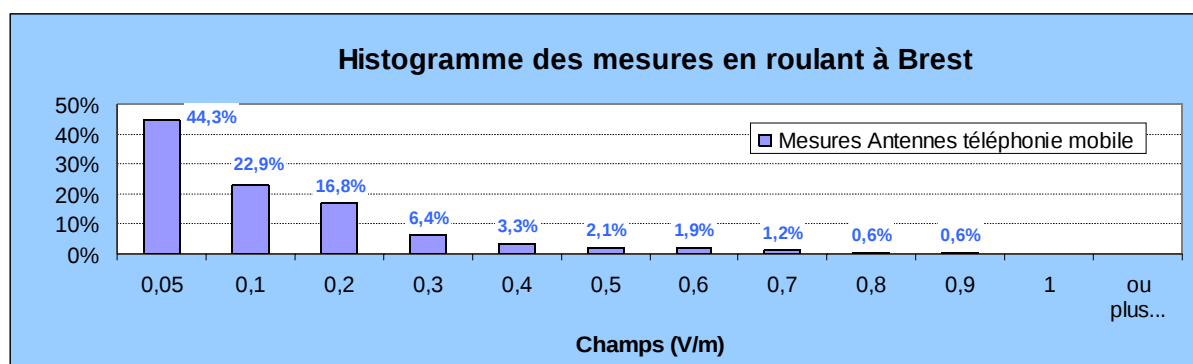
CANNES

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	5,4
Façade	30,5
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,4
Façade	0,3
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,2
Façade	0,2

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

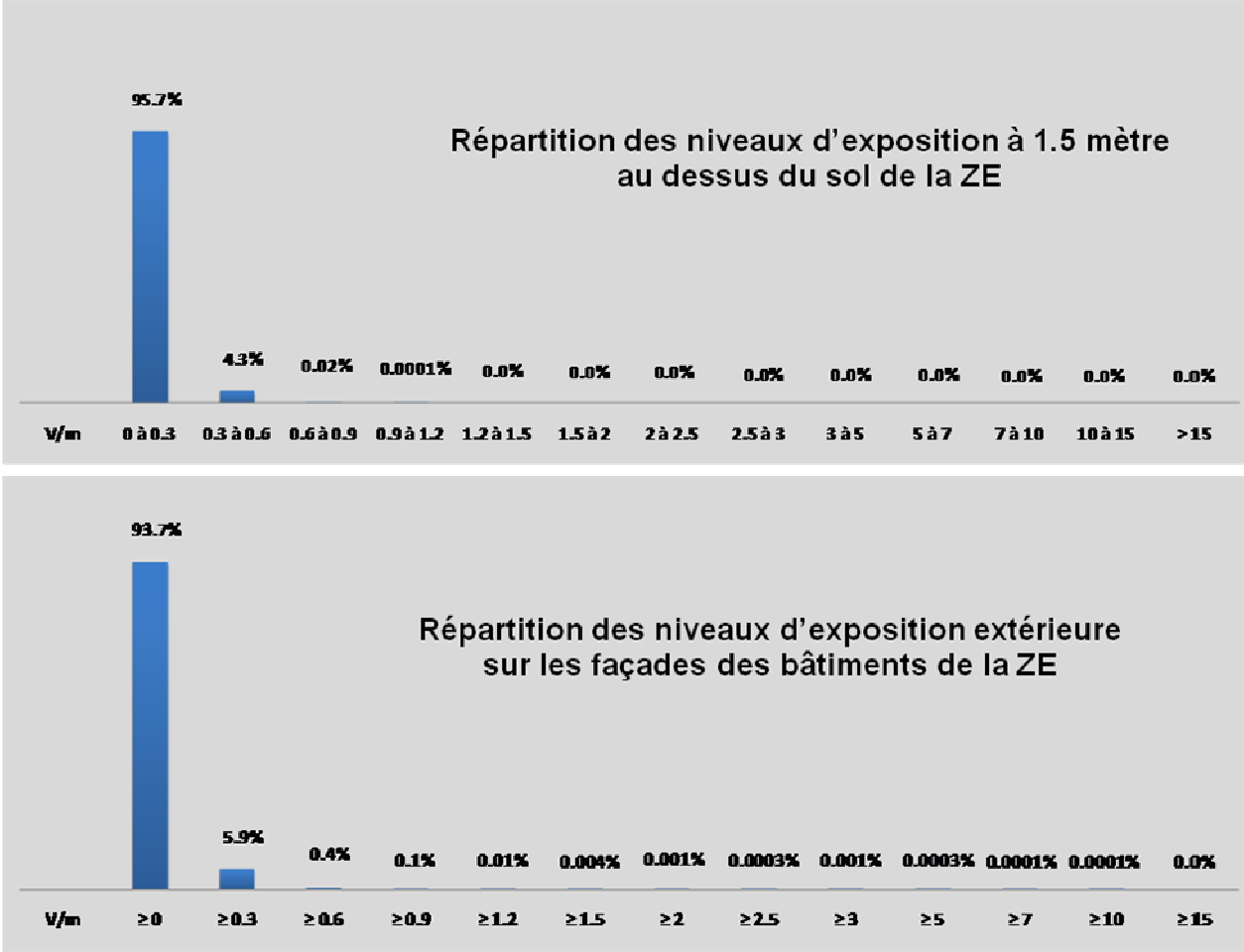


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

Non disponible au moment de l'édition du rapport.

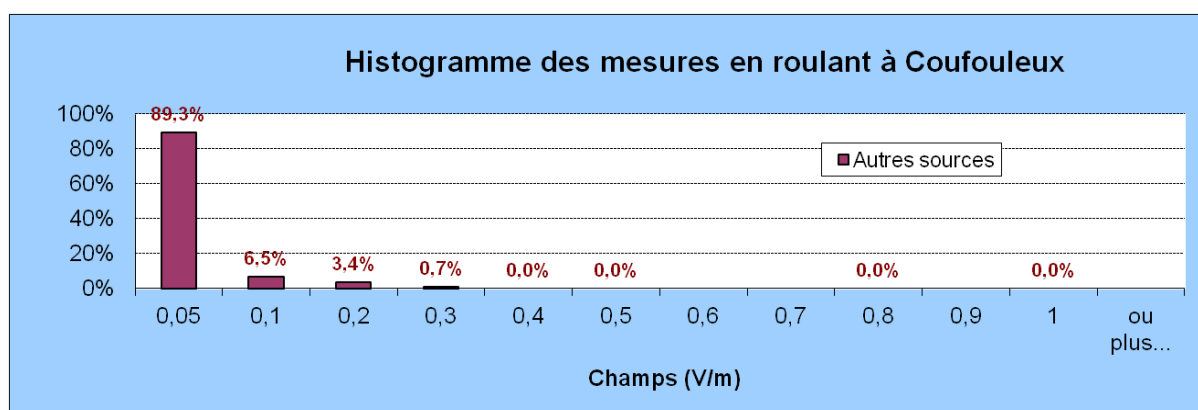
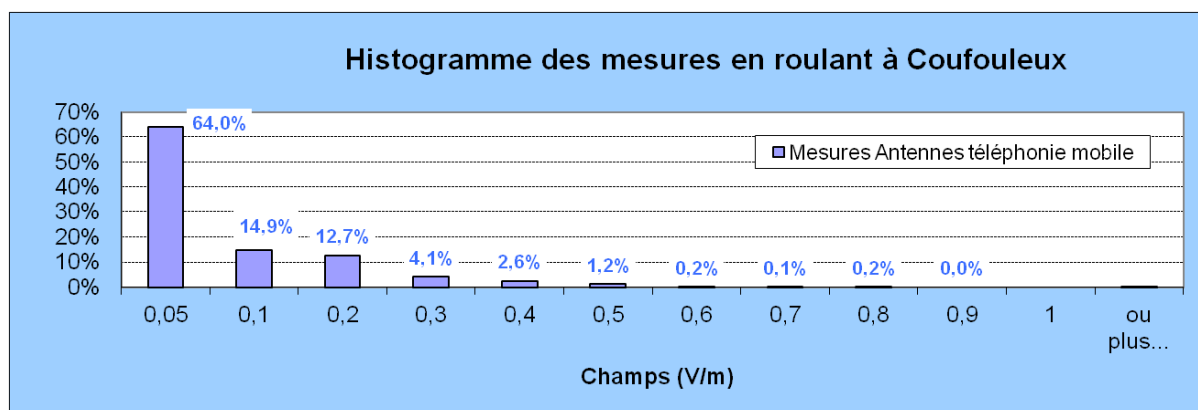
COUFOULEUX

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	1,0
Façade	1,6
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,1
Façade	0,1
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,1
Façade	0,1

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)



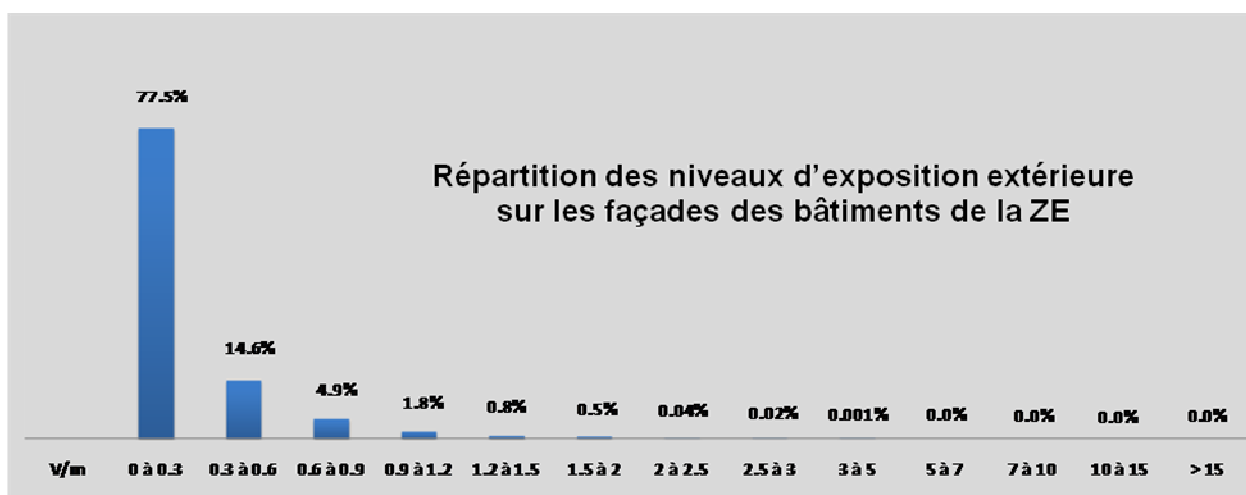
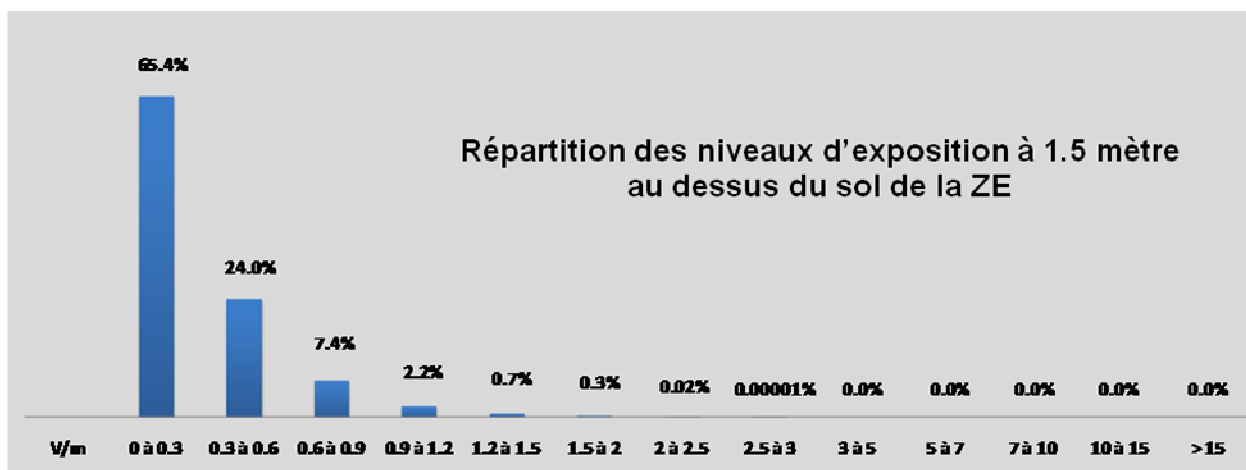
Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

	BYT (EDL)		BYT (réduction à 0,6)		ORA (EDL)		ORA (réduction à 0,6 V/m)		SFR (EDL)		SFR (réduction à 0,6 V/m)	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G
EXTERIEUR	99.14%	99.70%	98.22%	99.24%	99.46%	99.15%	99.05%	95.81%	99.59%	98.04%	99.41%	94.50%
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	56.30%	66.14%	38.13%	51.26%	81.17%	71.24%	66.00%	54.92%	80.72%	58.79%	63.23%	37.58%
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	40.92%	46.17%	24.95%	36.21%	66.37%	57.49%	48.21%	36.38%	62.67%	41.93%	43.74%	26.28%

Coufouleux : impact sur la couverture 2G et 3G d'une diminution de l'exposition à 0,6 V/m

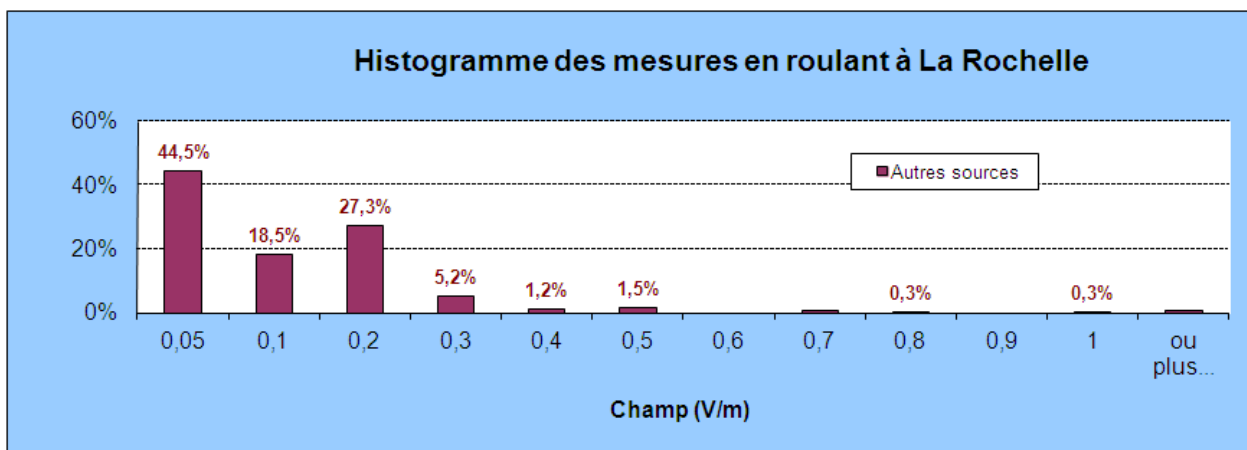
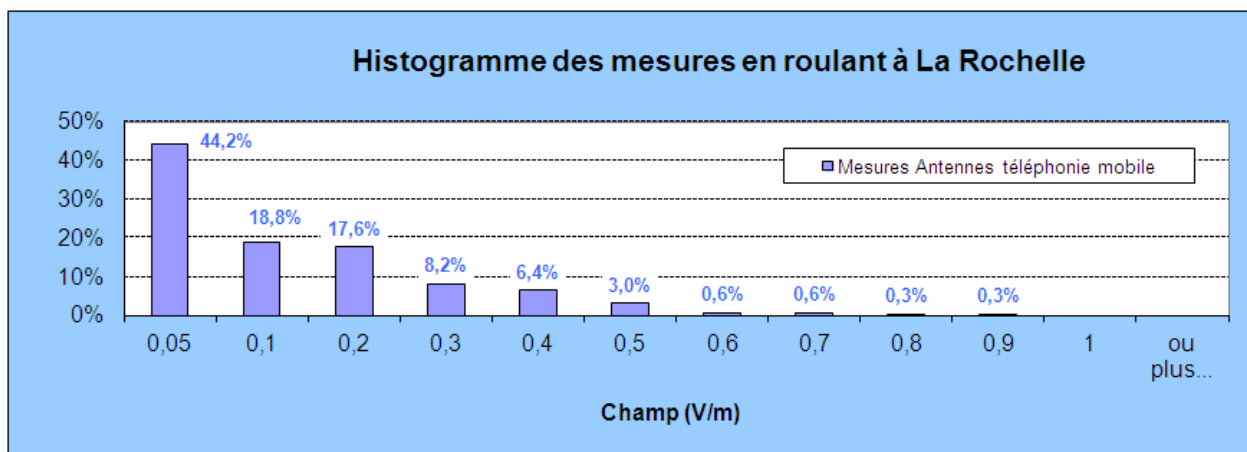
LA ROCHELLE

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	2,6
Façade	3,2
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,4
Façade	0,2
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,3
Façade	0,1

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

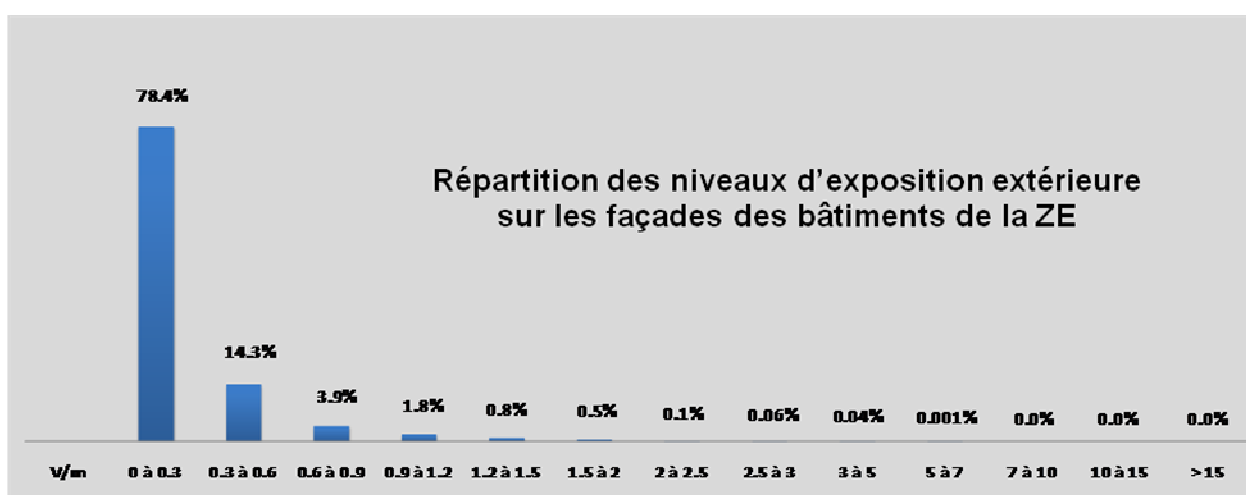
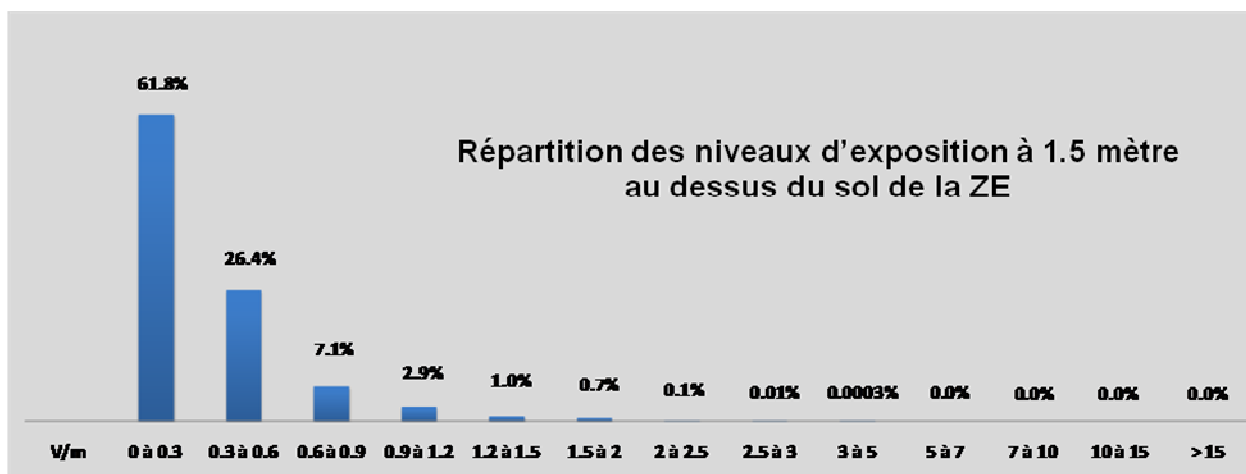


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

Non disponible au moment de l'édition du rapport.

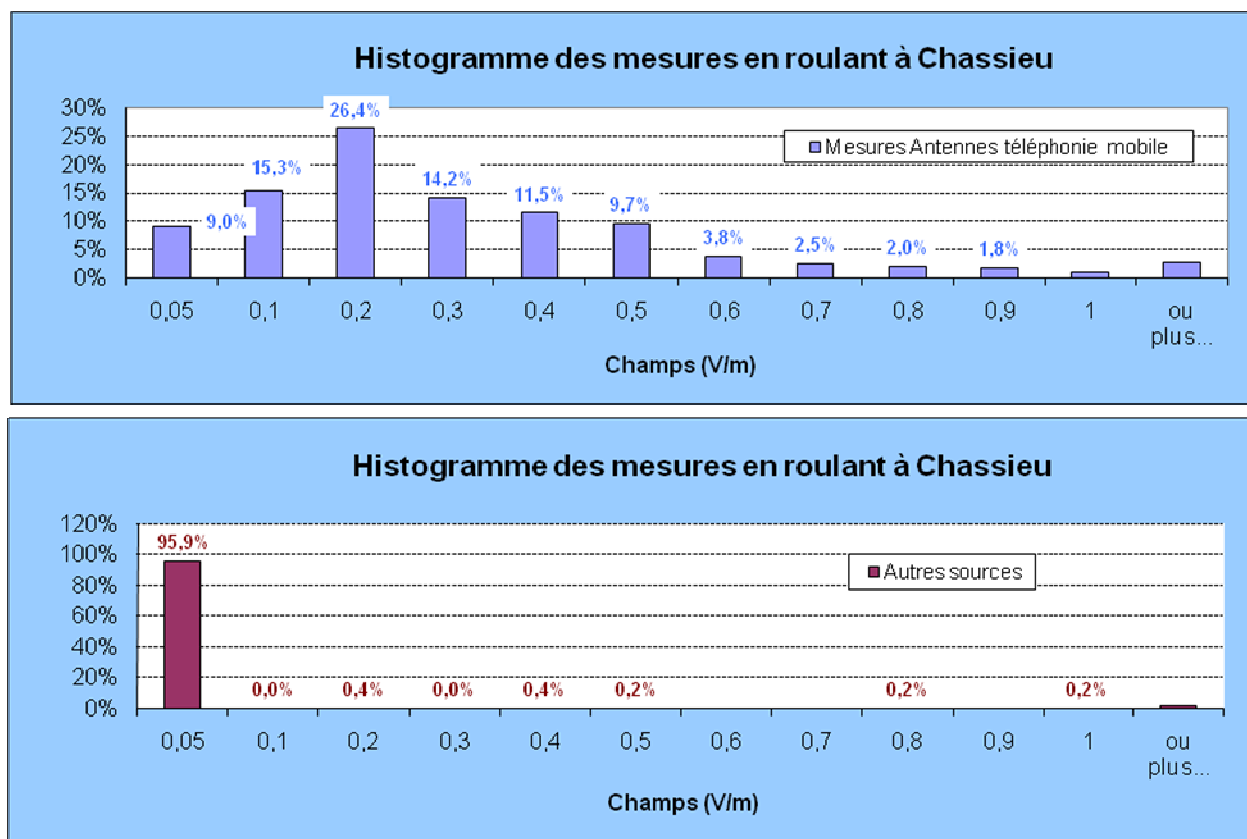
CHASSIEU

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	3,4
Façade	5,3
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,3
Façade	0,2
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,3
Façade	0,1

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

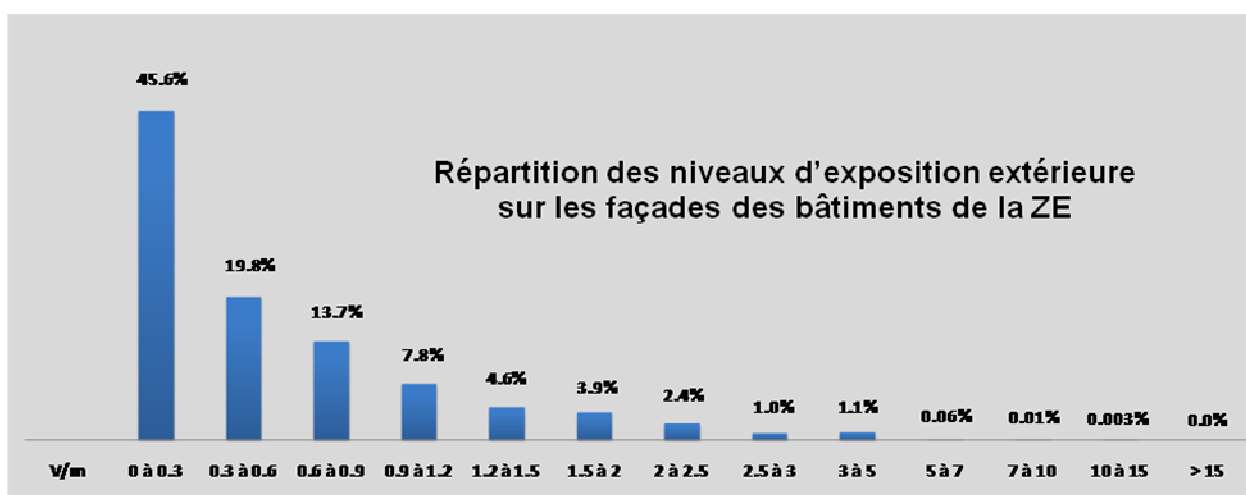
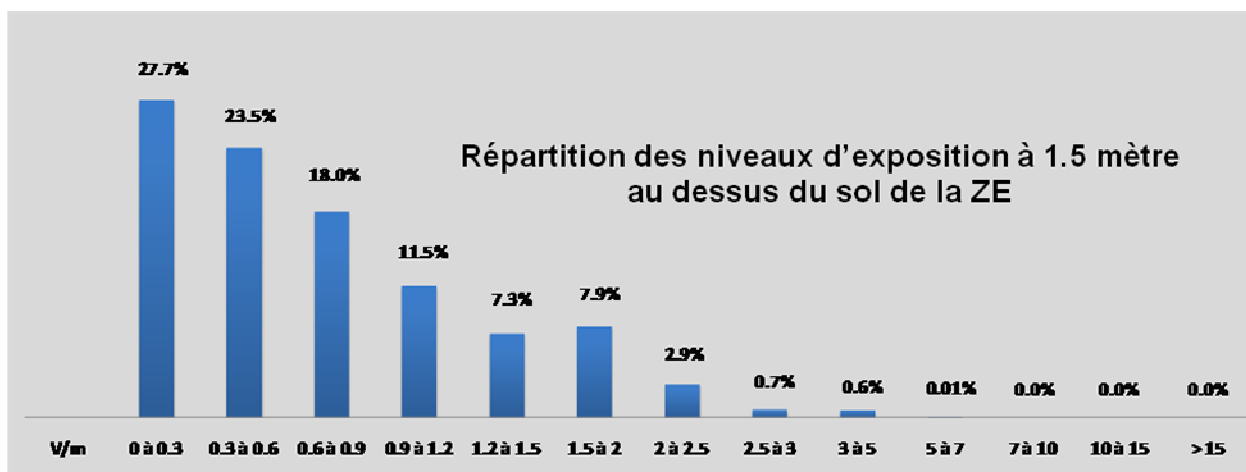


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

Non disponible au moment de l'édition du rapport.

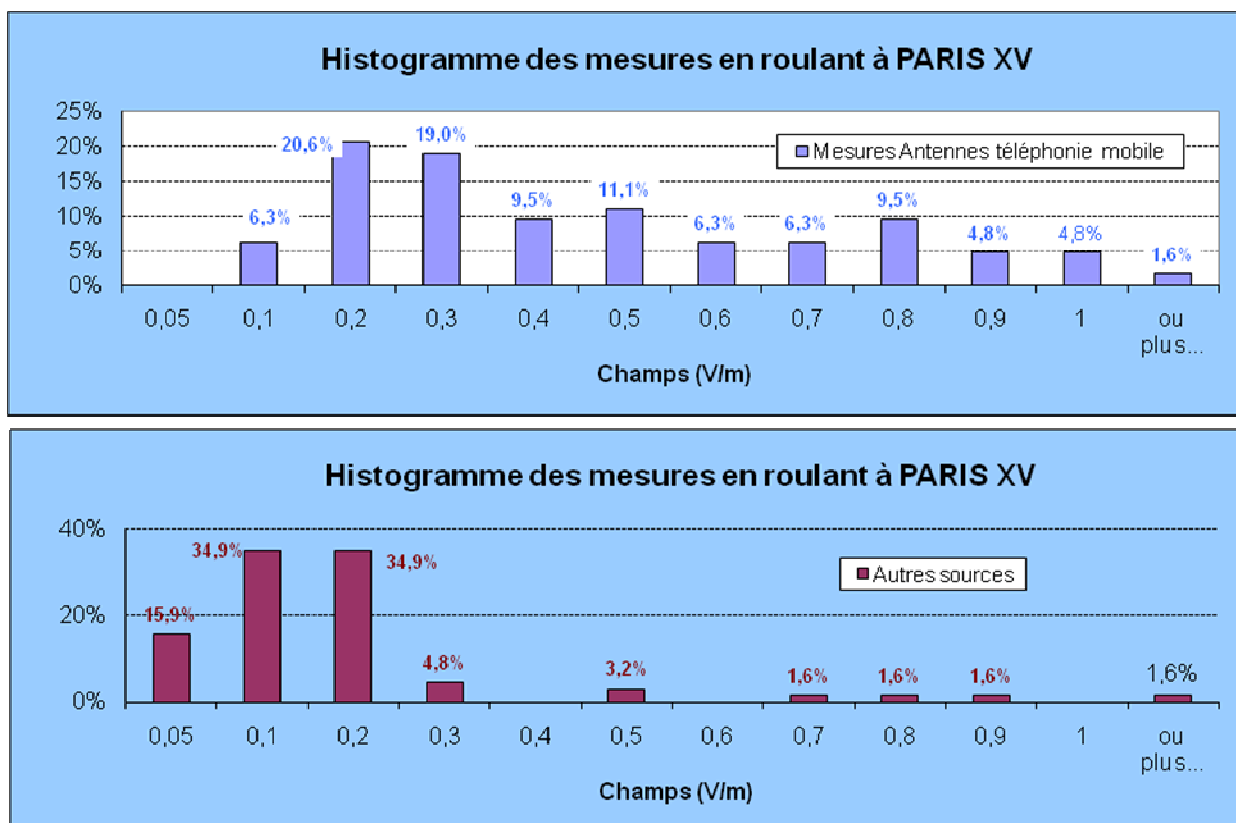
PARIS 15^{EME}

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	6,1
Façade	12,9
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,9
Façade	0,6
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,7
Façade	0,4

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

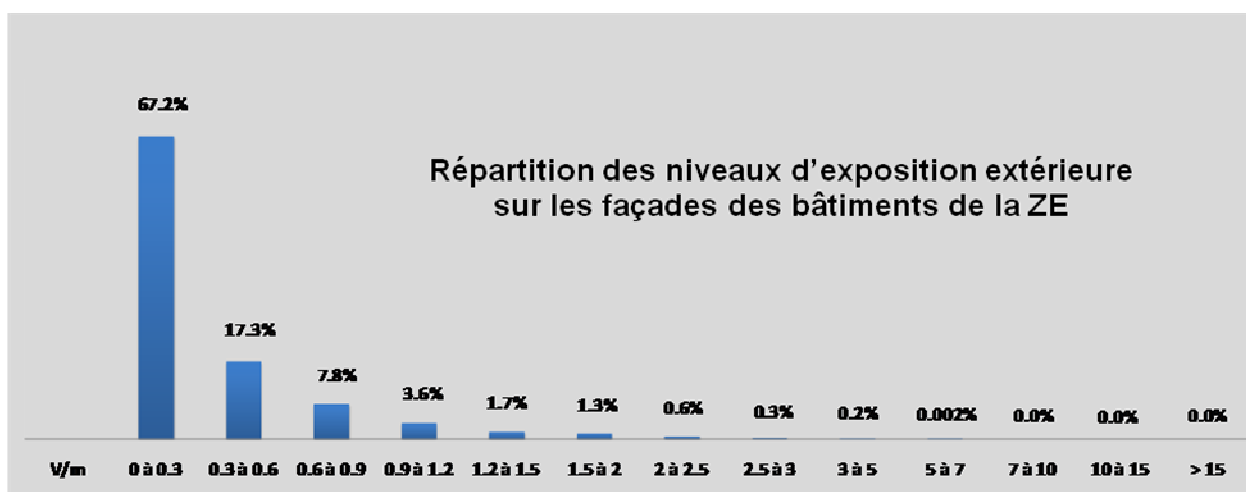
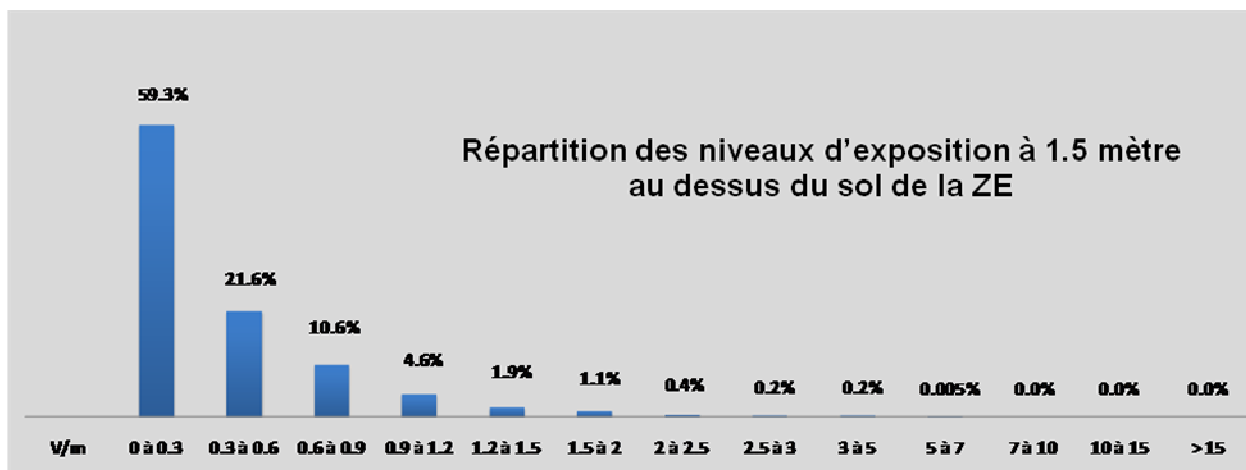


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

Non disponible au moment de l'édition du rapport.

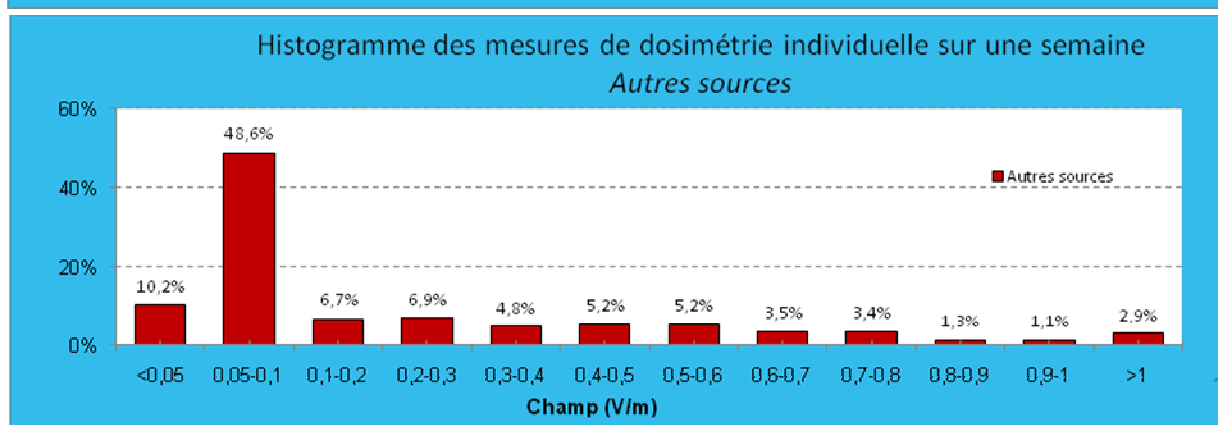
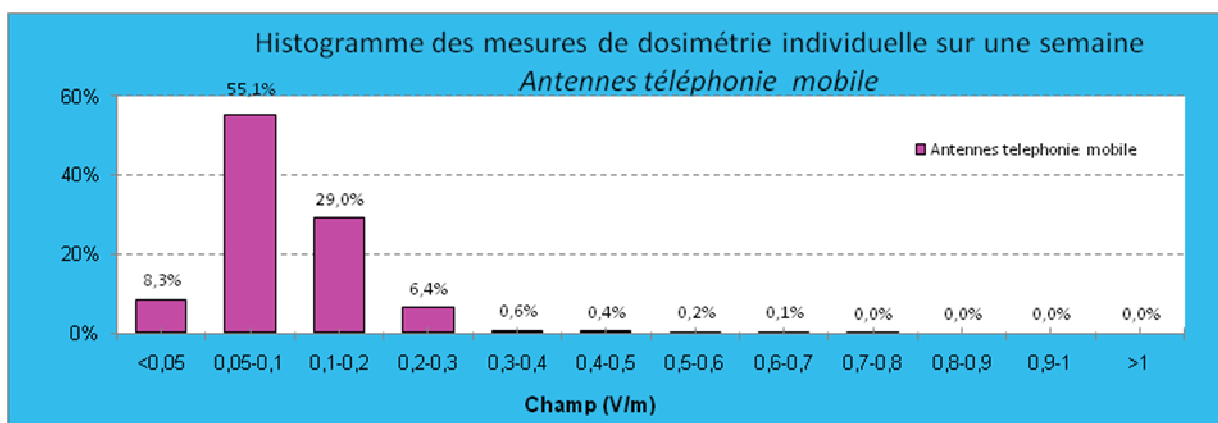
LAVELANET

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	6,5
Façade	6,3
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,5
Façade	0,3
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,3
Façade	0,2

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

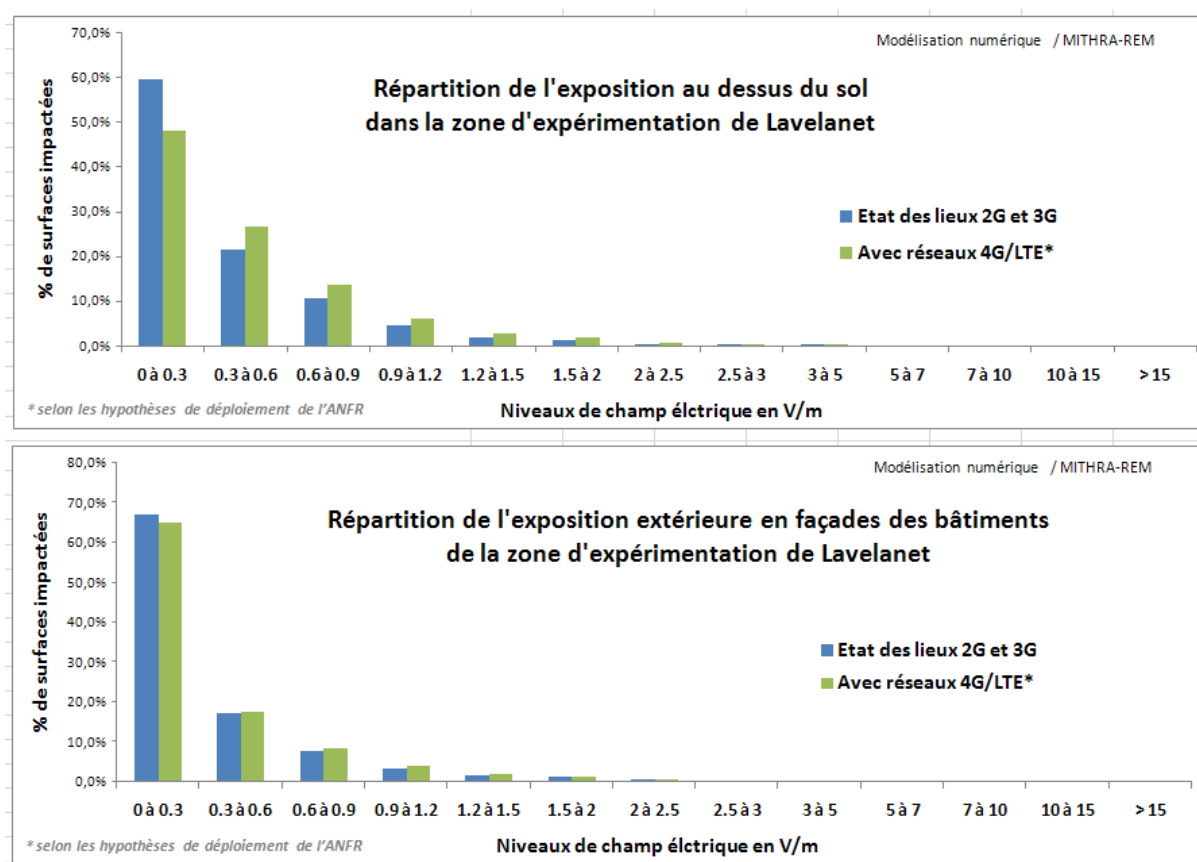


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

	BYT (EDL)		BYT (réduction à 0,6)		ORA (EDL)		ORA (réduction à 0,6 V/m)		SFR (EDL)		SFR (réduction à 0,6 V/m)	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	900	3G
EXTERIEUR	61.89%	43.60%	55.32%	27.67%	99.97%	99.37%	99.51%	97.62 %	93.28%	85.94%	92.06%	82.93 %
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	25.93%	42.89%	16.83%	22.30%	94.75%	99.06%	84.04%	74.11 %	83.48%	75.63%	77.53%	69.68 %
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	15.48%	31.78%	9.79%	14.56%	83.01%	98.00%	66.99%	58.52%	65.11%	60.97%	57.87%	53.90 %

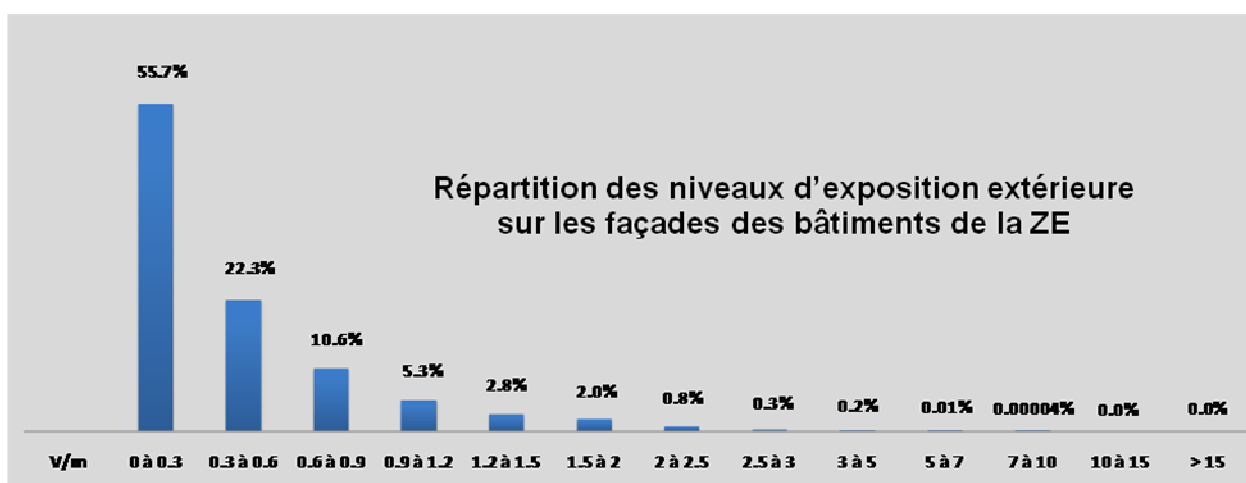
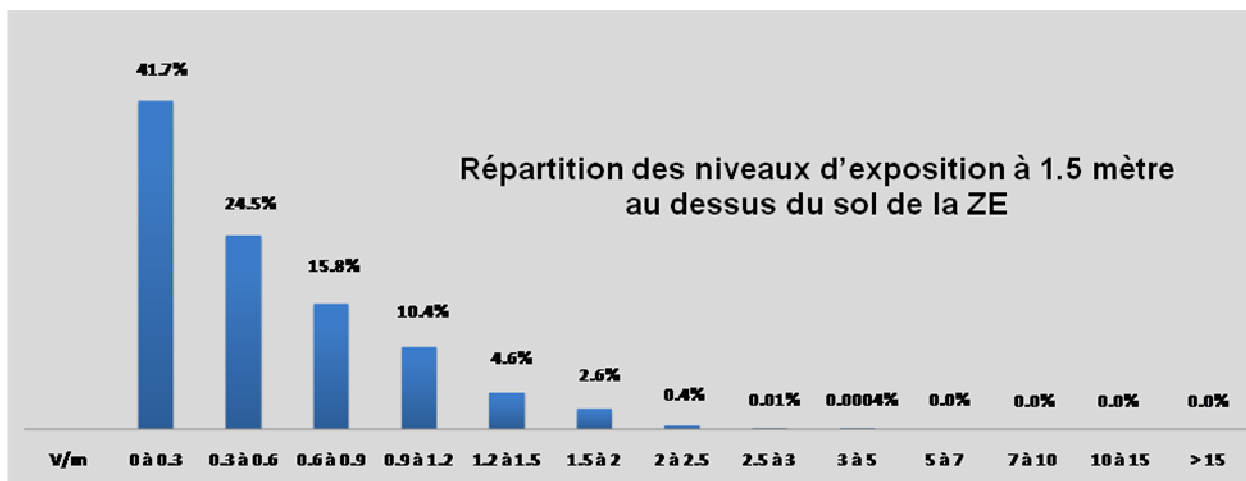
Lavelanet : impact sur la couverture 2G et 3G d'une diminution de l'exposition à 0,6 V/m

Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)



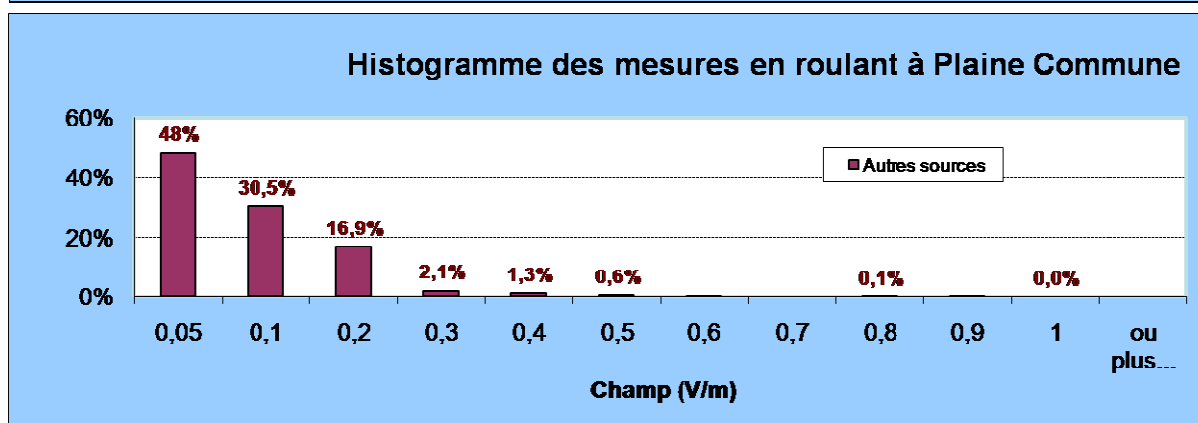
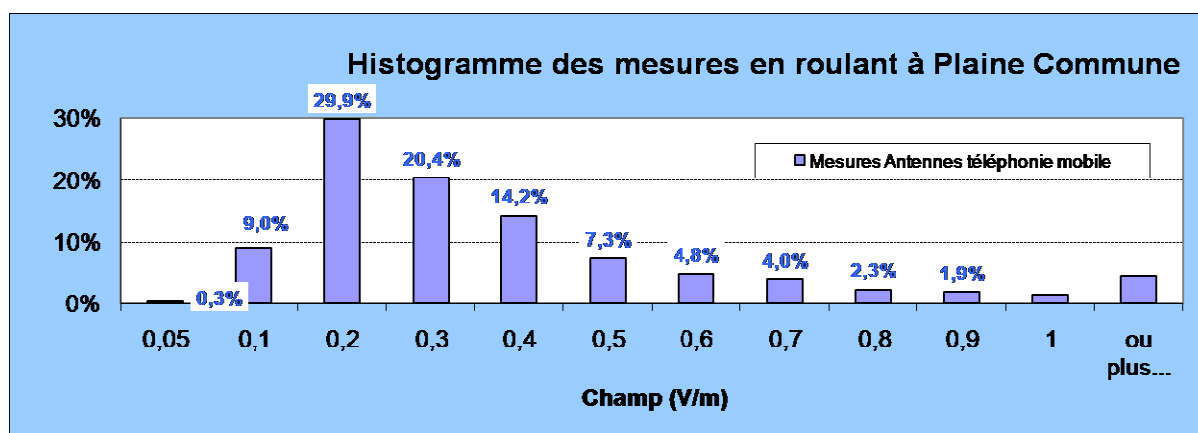
PLAINE COMMUNE

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	3,5
Façade	7,3
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,6
Façade	0,4
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,5
Façade	0,3

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)



Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

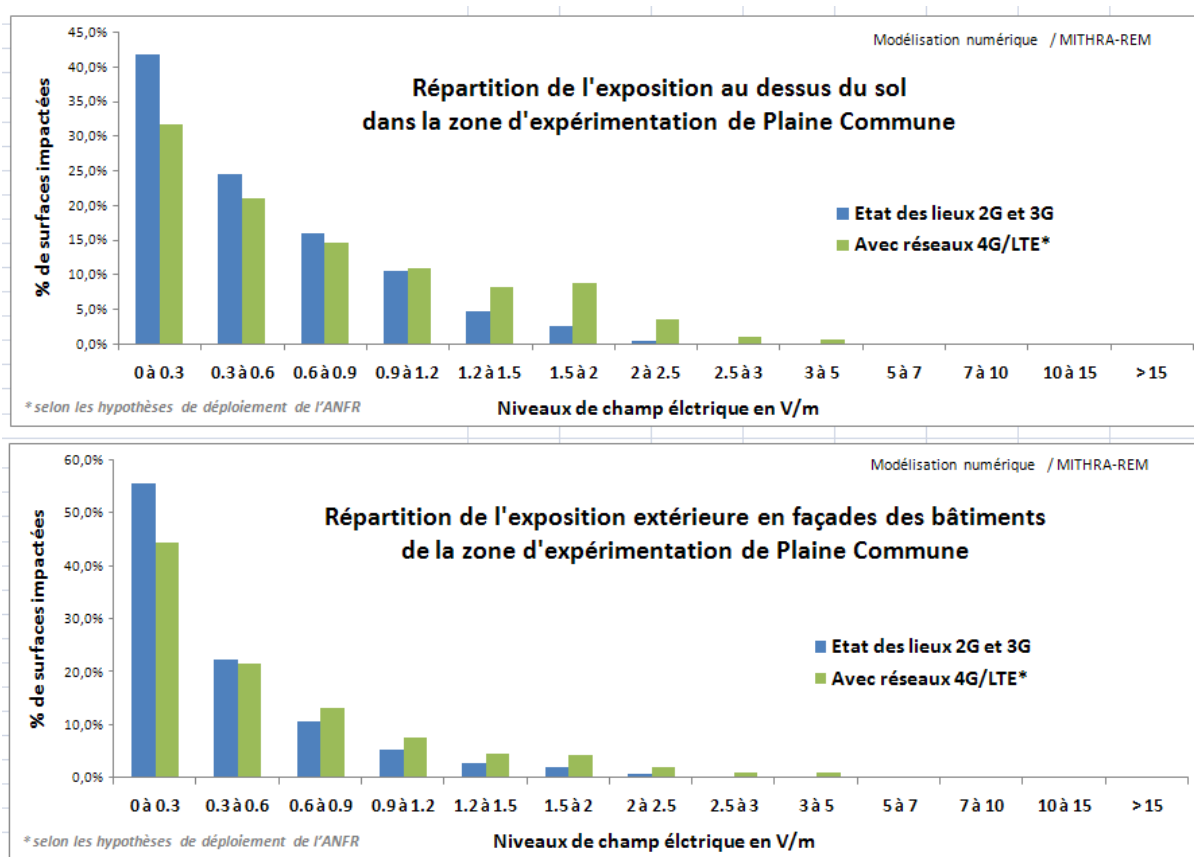
	BYT (EDL)		BYT (réduction à 0,6)		ORA (EDL)		ORA (réduction à 0,6 V/m)		SFR (EDL)		SFR (réduction à 0,6 V/m)	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G
EXTERIEUR	98.32%	97.00%	95.74%	96.85%	99.37%	96.49%	99.02%	96.28%	98.64%	97.19%	96.14%	97.44%
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	76.12%	72.98%	16.70%	29.66%	95.53%	63.86%	32.78%	33.23%	77.14%	70.39%	24.16%	41.99%
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	54.65%	50.00%	7.70%	21.98%	82.63%	47.43%	20.54%	25.18%	59.82%	49.95%	14.06%	30.00%

Plaine Commune : impact sur la couverture 2G et 3G d'une diminution de l'exposition à 0,6 V/m

	BYT (EDL)		BYT (réduction à 1,5)		ORA (EDL)		ORA (réduction à 1,5 V/m)		SFR (EDL)		SFR (réduction à 1,5 V/m)	
	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G	2G	3G
EXTERIEUR	98.32%	97.00%	96.08%	97.36%	99.37%	96.49%	96.99%	97.82%	98.64%	97.19%	96.46%	97.74%
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	76.12%	72.98%	43.18%	40.06%	95.53%	63.86%	65.47%	52.73%	77.14%	70.39%	50.66%	53.10%
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	54.65%	50.00%	30.54%	29.18%	82.63%	47.43%	48.00%	39.73%	59.82%	49.95%	37.16%	36.51%

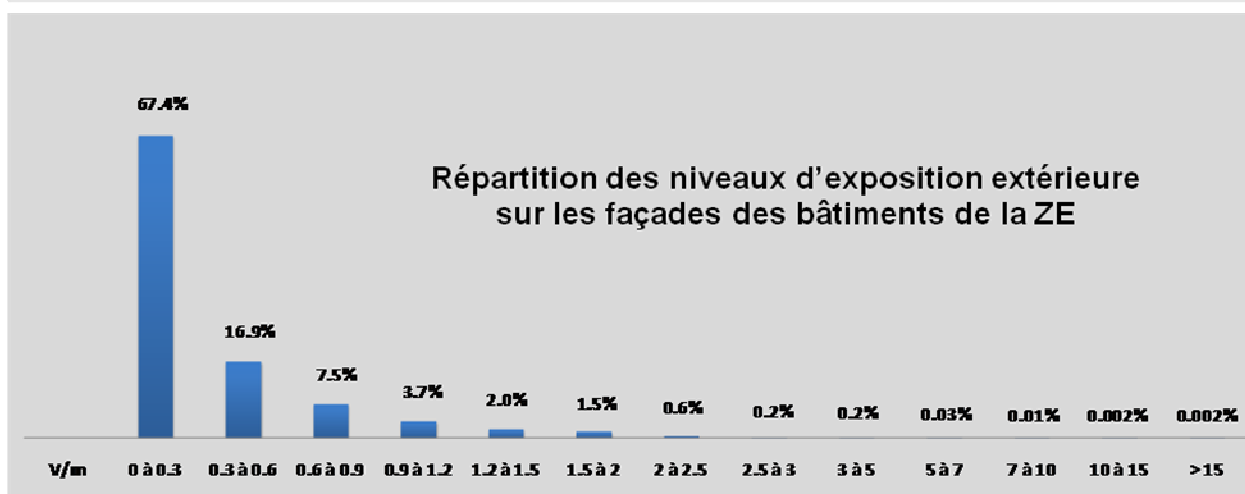
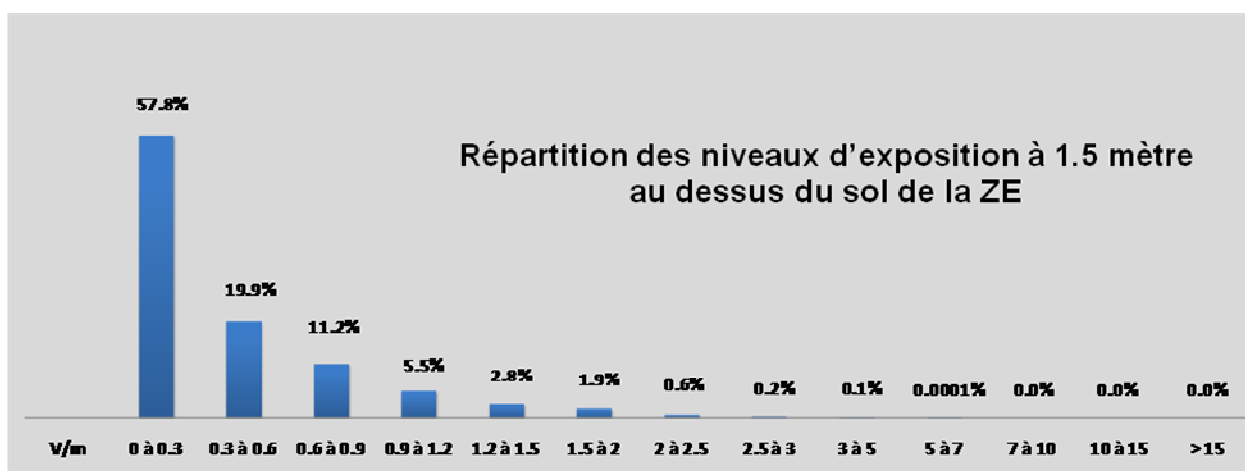
Plaine Commune : impact sur la couverture 2G et 3G d'une diminution de l'exposition à 1,5 V/m

Impact du déploiement du réseau 4G (LTE) sur l'exposition (sol et façade)



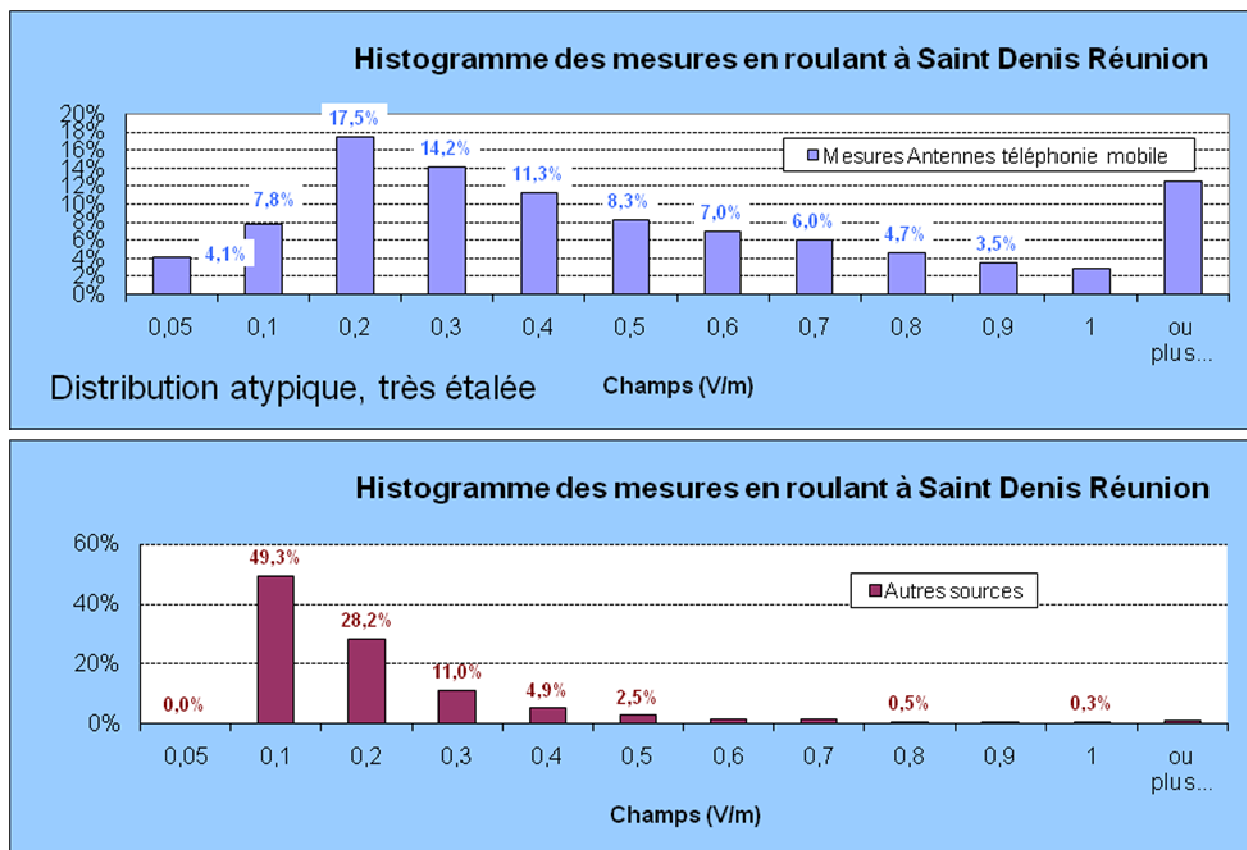
SAINT DENIS DE LA REUNION

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	6,7
Façade	27,7
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,6
Façade	0,3
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,4
Façade	0,2

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)

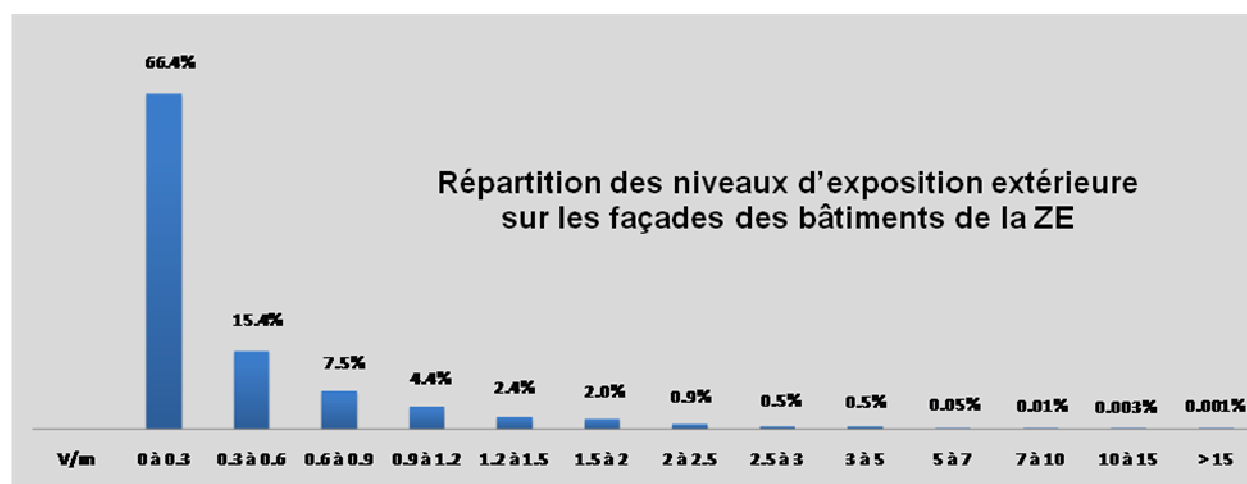
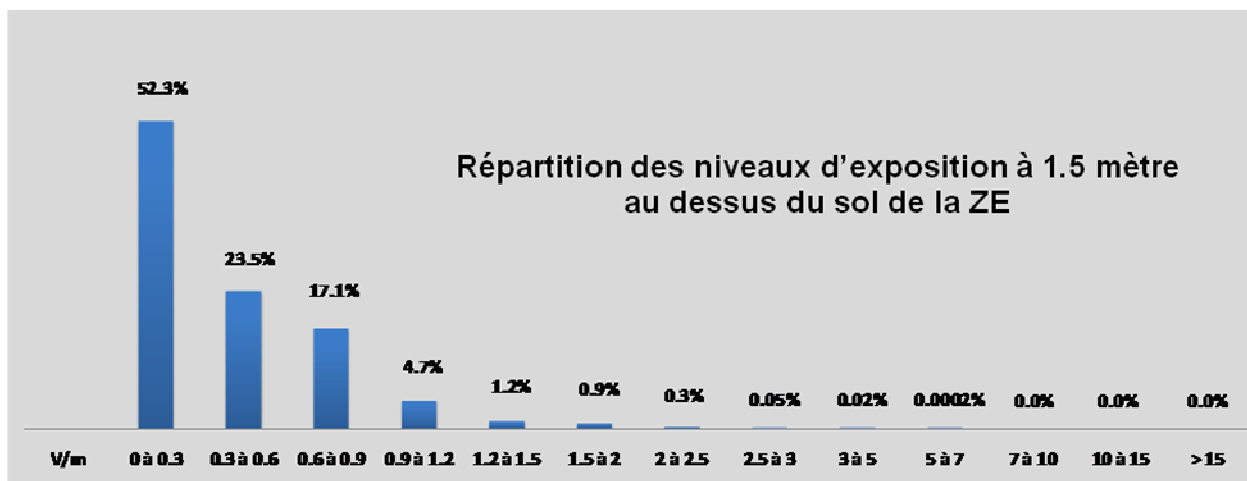


Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

Non disponible au moment de l'édition du rapport.

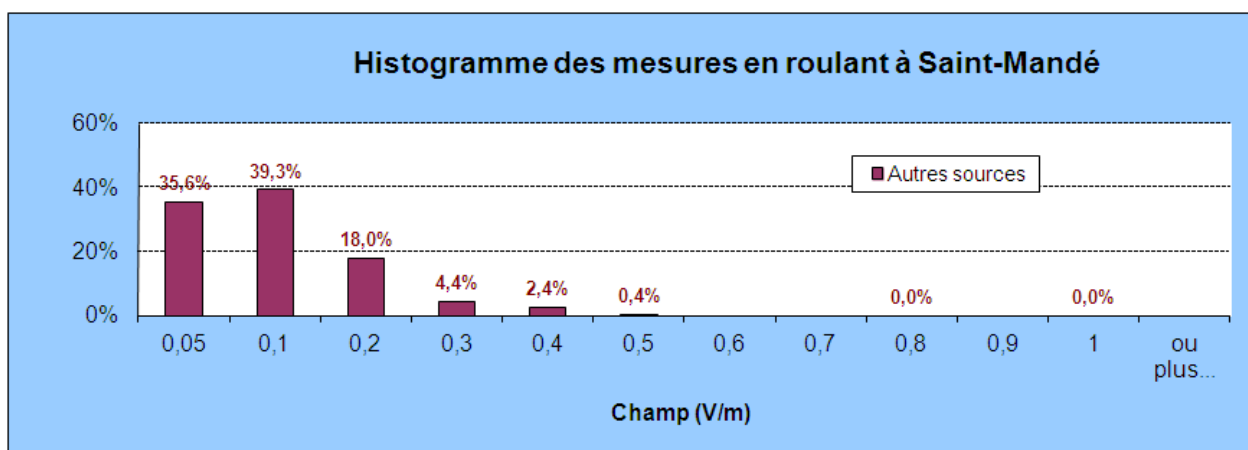
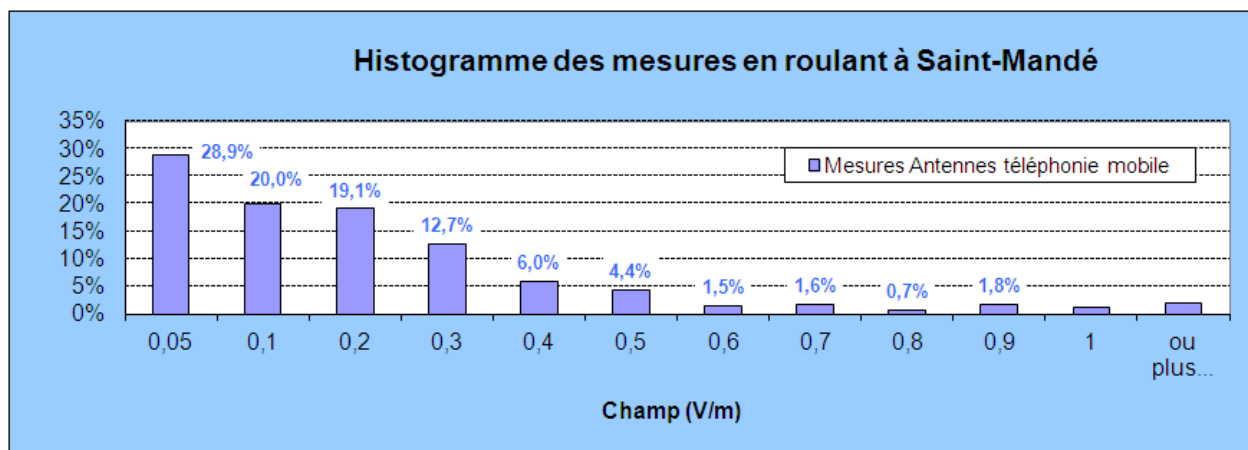
SAINT-MANDE

Modélisation de l'exposition (sol et façade)



Niveau maximum (V/m)	
Sol	5,5
Façade	15,3
Niveau moyen (V/m)	
Sol	0,4
Façade	0,4
Niveau médian (V/m)	
Sol	0,3
Façade	0,2

Mesures de l'exposition : mesures en extérieur en roulant (téléphonie mobile et autres sources)



Simulation d'abaissement de puissance : modélisation de la couverture

Non disponible au moment de l'édition du rapport.

ANNEXE D : TABLEAUX DES RESULTATS DETAILLES DE L'ETAT DES LIEUX

TABLEAUX SYNTHETIQUES DE L'EXPOSITION EN FAÇADE ET AU SOL (MEDIANE – MOYENNE – MAXIMUM) : COUFOULEUX, GRAND CHAMP, KRUTH, LAVELANET, BREST, CHASSIEU, THIERS, GRENOBLE, LA ROCHELLE, ST DENIS DE LA REUNION

Commune pilote :	Coufouleux (81)	Grand Champ (56)	Kruth (68)	Lavelanet (09)
Type d'environnement :	<i>Rural relief faible</i>		<i>Rural zone montagneuse</i>	

		Niveau maximum (V/m)		Niveau maximum (V/m)	
Sol		1,0	1,3	4,4	6,5
Façades		1,6	5,1	3,3	6,3
		Niveau moyen (V/m)		Niveau moyen (V/m)	
Sol		0,1	0,1	0,1	0,5
Façades		0,1	0,1	0,1	0,3
		Niveau médian (V/m)		Niveau médian (V/m)	
Sol		0,1	0,1	0,0	0,3
Façades		0,1	0,0	0,0	0,2

Commune pilote :	Brest (29)	Chassieu (69)	Thiers (63)	Grenoble (38)	La Rochelle (17)	Saint Denis de la Réunion (974)
Type d'environnement :	<i>Péri urbain peu dense</i>			<i>Urbain moderne dense</i>		

		Niveau maximum (V/m)			Niveau maximum (V/m)		
Sol		2,3	3,4	4,8	2,7	2,6	6,7
Façades		2,5	5,3	6,5	5,0	3,2	27,7
		Niveau moyen (V/m)			Niveau moyen (V/m)		
Sol		0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,6
Façades		0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3
		Niveau médian (V/m)			Niveau médian (V/m)		
Sol		0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,4
Façades		0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2

**TABLEAUX SYNTHETIQUES DE L'EXPOSITION EN FAÇADE ET AU SOL (MEDIANE – MOYENNE
– MAXIMUM) : CANNES, PARIS 14^{EME}, PARIS 15^{EME}, PLAINE COMMUNE, ST MANDE,
COURBEVOIE**

Commune pilote :	Cannes (06)	Paris 14 (75)	Paris 15 (75)	Saint Denis Plaine Commune (93)	Saint Mandé (94)	Courbevoie (92)
Type d'environnement :	<i>Centre ville ancien dense</i>					<i>Haute densité</i>

Niveau maximum (V/m)						Niveau maximum (V/m)
Sol	5,4	4,8	6,1	3,5	5,5	5,6
	30,5	12,0	12,9	7,3	15,3	15,4
Façades	Niveau moyen (V/m)					Niveau moyen (V/m)
	0,4	0,6	0,9	0,6	0,4	0,5
Façades	0,3	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5
	Niveau médian (V/m)					Niveau médian (V/m)
Sol	0,2	0,5	0,7	0,5	0,3	0,4
	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3
Façades						

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION SOL : COUFOULEUX, GRAND CHAMP, KRUTH, LAVELANET

Commune pilote :	Coufouleux (81)	Grand Champ (56)	Kruth (68)	Lavelanet (09)
Type d'environnement :	Rural relief faible		Rural zone montagneuse	
EXPOSITION AU SOL				
	Sol - Niveau à 80% (V/m)		Sol - Niveau à 80% (V/m)	
Sol - niveau :	0,2	0,2	0,1	0,7
Nombre de m ² au dessus du niveau :	65047,0	126956,0	52930,0	97460,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,8	3,9	5,4	1,8
	Sol - Niveau à 85% (V/m)		Sol - Niveau à 85% (V/m)	
Sol - niveau :	0,2	0,2	0,1	0,9
Nombre de m ² au dessus du niveau :	48785,0	95217,0	39698,0	73095,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,7	3,8	5,5	1,7
	Sol - Niveau à 90% (V/m)		Sol - Niveau à 90% (V/m)	
Sol - niveau :	0,2	0,2	0,1	1,2
Nombre de m ² au dessus du niveau :	32524,0	63478,0	26465,0	48730,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,6	3,7	5,6	1,6
	Sol - Niveau à 95% (V/m)		Sol - Niveau à 95% (V/m)	
Sol - niveau :	0,3	0,3	0,2	1,7
Nombre de m ² au dessus du niveau :	16262,0	31739,0	13233,0	24365,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,4	3,6	5,2	1,5
	Sol - Niveau à 99% (V/m)		Sol - Niveau à 99% (V/m)	
Sol - niveau :	0,4	0,4	0,3	3,1
Nombre de m ² au dessus du niveau :	3253,0	6348,0	2647,0	4873,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,8	3,4	3,4	1,4
	Sol - Niveau à 99.9% (V/m)		Sol - Niveau à 99.9% (V/m)	
Sol - niveau :	0,7	1,0	1,1	4,7
Nombre de m ² au dessus du niveau :	326,0	635,0	265,0	488,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,9	2,8	2,4	1,2
	Sol - Niveau à 99.99% (V/m)		Sol - Niveau à 99.99% (V/m)	
Sol - niveau :	0,9	1,2	3,2	5,2
Nombre de m ² au dessus du niveau :	33,0	64,0	27,0	49,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,7	2,1	2,0	1,2

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION SOL : BREST, CHASSIEU, THIERS, GRENOBLE, LA ROCHELLE, ST DENIS DE LA REUNION

Commune pilote :	Brest (29)	Chassieu (69)	Thiers (63)	Grenoble (38)	La Rochelle (17)	Saint Denis de la Réunion (974)
Type d'environnement :	Péri urbain peu dense			Urbain moderne dense		
EXPOSITION AU SOL	Sol - Niveau à 80% (V/m)			Sol - Niveau à 80% (V/m)		
Sol - niveau :	0,5	0,5	0,2	0,8	0,6	0,9
Nombre de m² au dessus du niveau :	173363,0	171337,0	98420,0	260030,0	39722,0	166648,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,4	3,6	3,6	5,4	3,9	3,9
	Sol - Niveau à 85% (V/m)			Sol - Niveau à 85% (V/m)		
Sol - niveau :	0,6	0,6	0,3	0,9	0,7	1,1
Nombre de m² au dessus du niveau :	130022,0	128503,0	73815,0	195023,0	29792,0	124989,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,3	3,4	3,3	5,5	3,8	3,9
	Sol - Niveau à 90% (V/m)			Sol - Niveau à 90% (V/m)		
Sol - niveau :	0,7	0,6	0,4	0,9	0,9	1,3
Nombre de m² au dessus du niveau :	86682,0	85669,0	49210,0	130015,0	19861,0	83324,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,2	3,3	2,9	5,6	3,8	3,8
	Sol - Niveau à 95% (V/m)			Sol - Niveau à 95% (V/m)		
Sol - niveau :	0,8	0,9	0,6	1,0	1,2	1,6
Nombre de m² au dessus du niveau :	43341,0	42835,0	24065,0	65008,0	9931,0	41662,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,2	3,3	2,8	5,7	3,7	3,6
	Sol - Niveau à 99% (V/m)			Sol - Niveau à 99% (V/m)		
Sol - niveau :	1,1	1,4	1,0	1,2	1,5	2,4
Nombre de m² au dessus du niveau :	8669,0	8567,0	4921,0	13002,0	1987,0	8333,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,3	3,2	3,3	5,7	3,2	3,1
	Sol - Niveau à 99.9% (V/m)			Sol - Niveau à 99.9% (V/m)		
Sol - niveau :	1,6	2,1	2,6	2,4	2,1	3,4
Nombre de m² au dessus du niveau :	867,0	857,0	493,0	1301,0	199,0	834,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,1	2,2	2,7	6,9	3,6	2,9
	Sol - Niveau à 99.99% (V/m)			Sol - Niveau à 99.99% (V/m)		
Sol - niveau :	1,9	2,7	3,9	2,7	2,3	4,0
Nombre de m² au dessus du niveau :	87,0	86,0	50,0	131,0	20,0	84,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,6	1,4	2,0	7,0	3,3	2,8

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION SOL : CANNES, PARIS 14^{EME}, PARIS 15^{EME}, PLAINE COMMUNE, ST MANDE, COURBEVOIE

Commune pilote :	Cannes (06)	Paris 14 (75)	Paris 15 (75)	Saint Denis Plaine Commune (93)	Saint Mandé (94)	Courbevoie (92)
Type d'environnement :	Centre ville ancien dense					Haute densité
EXPOSITION AU SOL						
	Sol - Niveau à 80% (V/m)					Sol - Niveau à 80% (V/m)
Sol - niveau :	0,6	1,0	1,4	1,0	0,7	0,8
Nombre de m² au dessus du niveau :	55758,0	98513,0	16877,0	67538,0	93977,0	71772,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	4,5	4,6	4,7	4,5	4,7	4,2
	Sol - Niveau à 85% (V/m)					Sol - Niveau à 85% (V/m)
Sol - niveau :	0,7	1,1	1,5	1,1	0,8	0,9
Nombre de m² au dessus du niveau :	41818,0	73885,0	12658,0	50654,0	70483,0	53829,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	4,6	4,5	4,6	4,4	4,5	4,3
	Sol - Niveau à 90% (V/m)					Sol - Niveau à 90% (V/m)
Sol - niveau :	0,9	1,1	1,7	1,2	0,9	1,1
Nombre de m² au dessus du niveau :	27879,0	49257,0	8439,0	33769,0	46989,0	35886,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	4,7	4,5	4,5	4,2	4,3	4,4
	Sol - Niveau à 95% (V/m)					Sol - Niveau à 95% (V/m)
Sol - niveau :	1,3	1,3	2,1	1,4	1,1	1,5
Nombre de m² au dessus du niveau :	13940,0	24629,0	4220,0	16885,0	23495,0	17943,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	4,4	4,2	4,3	4,1	3,8	4,4
	Sol - Niveau à 99% (V/m)					Sol - Niveau à 99% (V/m)
Sol - niveau :	2,2	1,7	2,7	1,9	1,5	2,2
Nombre de m² au dessus du niveau :	2788,0	4926,0	844,0	3377,0	4699,0	3589,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,1	3,3	3,0	3,8	3,7	3,8
	Sol - Niveau à 99.9% (V/m)					Sol - Niveau à 99.9% (V/m)
Sol - niveau :	3,9	3,7	4,4	2,3	2,6	3,5
Nombre de m² au dessus du niveau :	279,0	493,0	85,0	338,0	470,0	359,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,5	2,1	2,6	3,0	2,3	2,9
	Sol - Niveau à 99.99% (V/m)					Sol - Niveau à 99.99% (V/m)
Sol - niveau :	4,8	8,2	5,2	2,5	3,8	4,1
Nombre de m² au dessus du niveau :	28,0	50,0	9,0	34,0	47,0	36,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	1,9	2,0	2,2	2,9	2,0	2,2

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION EN FAÇADE : COUFOULEUX, GRAND CHAMP, KRUTH, LAVELANET

Commune pilote :	Coufouleux (81)	Grand Champ (56)	Kruth (68)	Lavelanet (09)
Type d'environnement :	Rural relief faible		Rural zone montagneuse	
EXPOSITION EN FACADES				
	Façades - Niveau à 80% (V/m)		Façades - Niveau à 80% (V/m)	
Façades - niveau :	0,2	0,1	0,1	0,5
Nombre de m² au dessus du niveau :	206605,0	351534,0	141801,0	286099,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,8	3,9	5,3	2,0
Nombre de façades distinctes impactées :	3807,0	5309,0	2350,0	4660,0
	Façades - Niveau à 85% (V/m)		Façades - Niveau à 85% (V/m)	
Façades - niveau :	0,3	0,1	0,1	0,6
Nombre de m² au dessus du niveau :	154954,0	263651,0	106351,0	214574,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,7	3,7	5,4	1,9
Nombre de façades distinctes impactées :	3242,0	4770,0	2047,0	4010,0
	Façades - Niveau à 90% (V/m)		Façades - Niveau à 90% (V/m)	
Façades - niveau :	0,2	0,2	0,1	0,8
Nombre de m² au dessus du niveau :	103303,0	175767,0	70901,0	143050,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,5	3,6	5,4	1,8
Nombre de façades distinctes impactées :	2560,0	3854,0	1629,0	3133,0
	Façades - Niveau à 95% (V/m)		Façades - Niveau à 95% (V/m)	
Façades - niveau :	0,3	0,2	0,1	1,1
Nombre de m² au dessus du niveau :	51652,0	87884,0	35451,0	71525,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,4	3,5	5,5	1,5
Nombre de façades distinctes impactées :	1615,0	2390,0	975,0	1856,0
	Façades - Niveau à 99% (V/m)		Façades - Niveau à 99% (V/m)	
Façades - niveau :	0,5	0,4	0,2	2,1
Nombre de m² au dessus du niveau :	10331,0	17577,0	7091,0	14305,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,2	3,4	5,6	1,3
Nombre de façades distinctes impactées :	512,0	615,0	223,0	454,0
	Façades - Niveau à 99.9% (V/m)		Façades - Niveau à 99.9% (V/m)	
Façades - niveau :	0,9	0,7	0,2	3,5
Nombre de m² au dessus du niveau :	1034,0	1758,0	710,0	1431,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,9	2,5	4,1	1,2
Nombre de façades distinctes impactées :	87,0	109,0	39,0	105,0
	Façades - Niveau à 99.99% (V/m)		Façades - Niveau à 99.99% (V/m)	
Façades - niveau :	1,4	1,0	0,3	4,5
Nombre de m² au dessus du niveau :	104,0	176,0	71,0	144,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,7	2,3	2,5	1,2
Nombre de façades distinctes impactées :	14,0	16,0	4,0	23,0

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION EN FAÇADE : BREST, CHASSIEU, THIERS, GRENOBLE, LA ROCHELLE, ST DENIS DE LA REUNION

Commune pilote :	Brest (29)	Chassieu (69)	Thiers (63)	Grenoble (38)	La Rochelle (17)	Saint Denis de la Réunion (974)
Type d'environnement :	Péri urbain peu dense			Urbain moderne dense		
EXPOSITION EN FAÇADES						
	Façades - Niveau à 80% (V/m)			Façades - Niveau à 80% (V/m)		
Façades - niveau :	0,3	0,3	0,2	0,5	0,4	0,5
Nombre de m² au dessus du niveau :	278318,0	275245,0	622567,0	538876,0	292920,0	1019768,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,7	3,4	4,6	4,4	4,4	3,7
Nombre de façades distinctes impactées :	5523,0	5130,0	5478,0	1570,0	4560,0	10980,0
	Façades - Niveau à 85% (V/m)			Façades - Niveau à 85% (V/m)		
Façades - niveau :	0,3	0,4	0,2	0,6	0,5	0,7
Nombre de m² au dessus du niveau :	208739,0	206434,0	466926,0	404157,0	219690,0	764826,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,5	3,3	4,4	4,4	4,4	3,7
Nombre de façades distinctes impactées :	4690,0	4276,0	4895,0	1463,0	3558,0	9779,0
	Façades - Niveau à 90% (V/m)			Façades - Niveau à 90% (V/m)		
Façades - niveau :	0,3	0,5	0,2	0,7	0,5	0,8
Nombre de m² au dessus du niveau :	139159,0	137623,0	311284,0	269438,0	146460,0	509884,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,3	3,2	4,3	4,3	4,5	3,6
Nombre de façades distinctes impactées :	3500,0	3169,0	4034,0	1314,0	2460,0	8069,0
	Façades - Niveau à 95% (V/m)			Façades - Niveau à 95% (V/m)		
Façades - niveau :	0,5	0,7	0,3	0,9	0,7	1,1
Nombre de m² au dessus du niveau :	69580,0	68812,0	155642,0	134719,0	73230,0	254942,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,1	3,2	4,3	4,2	4,5	3,7
Nombre de façades distinctes impactées :	2068,0	1847,0	2513,0	1075,0	1365,0	5268,0
	Façades - Niveau à 99% (V/m)			Façades - Niveau à 99% (V/m)		
Façades - niveau :	0,8	1,3	0,6	1,4	1,1	2,0
Nombre de m² au dessus du niveau :	13916,0	13763,0	31129,0	26944,0	14646,0	50989,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,9	2,9	3,9	3,6	4,6	3,3
Nombre de façades distinctes impactées :	644,0	550,0	622,0	454,0	256,0	1605,0
	Façades - Niveau à 99.9% (V/m)			Façades - Niveau à 99.9% (V/m)		
Façades - niveau :	1,5	2,6	1,5	2,4	1,9	3,9
Nombre de m² au dessus du niveau :	1392,0	1377,0	3113,0	2695,0	1465,0	5099,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,9	3,2	2,7	3,4	4,8	3,1
Nombre de façades distinctes impactées :	87,0	81,0	138,0	89,0	42,0	208,0
	Façades - Niveau à 99.99% (V/m)			Façades - Niveau à 99.99% (V/m)		
Façades - niveau :	1,9	4,0	3,4	3,6	2,7	7,9
Nombre de m² au dessus du niveau :	140,0	138,0	312,0	270,0	147,0	510,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,9	5,3	2,5	3,0	4,3	3,2
Nombre de façades distinctes impactées :	16,0	13,0	12,0	14,0	4,0	31,0

TABLEAUX STATISTIQUES DE L'EXPOSITION EN FAÇADE : CANNES, PARIS 14^{EME}, PARIS 15^{EME}, PLAINE COMMUNE, ST MANDE, COURBEVOIE

Commune pilote :	Cannes (06)	Paris 14 (75)	Paris 15 (75)	Saint Denis Plaine Commune (93)	Saint Mandé (94)	Courbevoie (92)
Type d'environnement :	Centre ville ancien dense					Haute densité
EXPOSITION EN FAÇADES						
	Façades - Niveau à 80% (V/m)					Façades - Niveau à 80% (V/m)
Façades - niveau :	0,5	0,8	0,9	0,6	0,5	0,7
Nombre de m² au dessus du niveau :	139979,0	842123,0	120684,0	360940,0	436060,0	554694,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	4,1	3,9	3,8	4,3	4,1	3,9
Nombre de façades distinctes impactées :	2298,0	3902,0	2500,0	8739,0	3669,0	1819,0
	Façades - Niveau à 85% (V/m)					Façades - Niveau à 85% (V/m)
	0,6	1,0	1,1	0,8	0,7	0,9
Nombre de m² au dessus du niveau :	104984,0	631592,0	90513,0	270705,0	327045,0	416021,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	4,1	3,8	3,8	4,2	4,0	3,9
Nombre de façades distinctes impactées :	2023,0	3785,0	2178,0	7185,0	3346,0	1702,0
	Façades - Niveau à 90% (V/m)					Façades - Niveau à 90% (V/m)
	0,9	1,2	1,4	1,0	0,9	1,1
Nombre de m² au dessus du niveau :	69990,0	421062,0	60342,0	180470,0	218030,0	277347,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	4,1	3,7	3,7	4,2	4,0	3,8
Nombre de façades distinctes impactées :	1603,0	3604,0	1772,0	5295,0	2749,0	1529,0
	Façades - Niveau à 95% (V/m)					Façades - Niveau à 95% (V/m)
	1,3	1,6	1,9	1,3	1,3	1,6
Nombre de m² au dessus du niveau :	34995,0	210531,0	30171,0	90235,0	109015,0	138674,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	4,1	3,6	3,5	4,3	3,9	3,8
Nombre de façades distinctes impactées :	987,0	3096,0	1238,0	2946,0	1868,0	1231,0
	Façades - Niveau à 99% (V/m)					Façades - Niveau à 99% (V/m)
	2,5	2,5	3,1	2,1	2,4	2,7
Nombre de m² au dessus du niveau :	6999,0	42107,0	6035,0	18047,0	21803,0	27735,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	3,5	3,3	3,2	4,2	3,8	3,6
Nombre de façades distinctes impactées :	303,0	1537,0	433,0	696,0	634,0	652,0
	Façades - Niveau à 99.9% (V/m)					Façades - Niveau à 99.9% (V/m)
	4,7	4,7	4,8	2,8	4,4	4,8
Nombre de m² au dessus du niveau :	700,0	4211,0	604,0	1805,0	2181,0	2774,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	2,0	2,8	3,0	3,0	3,2	3,1
Nombre de façades distinctes impactées :	51,0	324,0	83,0	130,0	88,0	143,0
	Façades - Niveau à 99.99% (V/m)					Façades - Niveau à 99.99% (V/m)
	12,2	8,2	7,9	4,6	7,5	7,6
Nombre de m² au dessus du niveau :	70,0	422,0	61,0	181,0	219,0	278,0
Nombre moyen d'émetteurs contributeurs :	1,6	2,7	2,1	2,5	2,5	2,2
Nombre de façades distinctes impactées :	12,0	49,0	21,0	23,0	20,0	28,0

TABLEAUX DE DONNEES RELATIVES AUX SURFACES ET AUX BATIMENTS

Commune pilote :	Grenoble (38)	La Rochelle (17)	Saint Denis de la Réunion (974)	Cannes (06)	Paris 14 (75)	Paris 15 (75)	Saint Denis Plaine Commune (93)	Saint Mandé (94)	Courbevoie (92)
Type d'environnement :	Urbain moderne dense			Centre ville ancien dense				Haute densité	

SURFACES	Surface façades (m²)			Surface façades (m²)				Surface façades (m²)	
	2 577 860	1 716 319	5 250 676	677 348	3 969 742	542 139	2 242 103	2 034 403	2 570 972
	Surface de la ZE - sol (m²)			Surface de la ZE - sol (m²)				Surface de la ZE - sol (m²)	
	6 686 127	9 183 610	17 742 371	1 375 891	2 901 518	567 818	3 905 166	2 424 462	1 965 141
BATIMENTS	Hauteur moyenne bâti (m)			Hauteur moyenne bâti (m)				Hauteur moyenne bâti (m)	
	11,5	6,4	6,5	8,1	11,3	14,5	8,0	14,1	18,0
	Ecart type hauteur bâti (m)			Ecart type hauteur bâti (m)				Ecart type hauteur bâti (m)	
	9,4	3,7	3,8	5,3	8,8	9,6	5,7	6,7	19,2
	Aire (m²)			Aire (m²)				Aire (m²)	
	1 559 854	858 147	2 677 719	488 890	1 095 367	232 728	1 135 536	559 840	563 293
	Nombre de façades (environ)			Nombre de façades (environ)				Nombre de façades (environ)	
	31 500	49 700	68 600	20 300	0	9 100	63 000	21 000	15 400

Commune pilote :	Coufouleux (81)	Grand Champ (56)	Kruth (68)	Lavelanet (09)	Brest (29)	Chassieu (69)	Thiers (63)
Type d'environnement :	Rural relief faible		Rural zone montagneuse		Péri urbain peu dense		

SURFACES	Surface façades (m²)		Surface façades (m²)		Surface façades (m²)		
	1 126 647	1 506 224	733 457	1 391 565	1 521 379	1 306 521	3 070 304
	Surface de la ZE - sol (m²)		Surface de la ZE - sol (m²)		Surface de la ZE - sol (m²)		
	28 371 227	106 185 382	50 951 008	12 788 309	13 880 343	8 524 410	42 363 003
BATIMENTS	Hauteur moyenne bâti (m)		Hauteur moyenne bâti (m)		Hauteur moyenne bâti (m)		
	6,3	5,5	6,4	6,3	5,5	6,1	7,4
	Ecart type hauteur bâti (m)		Ecart type hauteur bâti (m)		Ecart type hauteur bâti (m)		
	2,4	1,6	1,8	2,5	1,9	2,6	4,0
	Aire (m²)		Aire (m²)		Aire (m²)		
	584 979	933 182	370 211	804 268	1 001 283	865 372	1 439 724
	Nombre de façades (environ)		Nombre de façades (environ)		Nombre de façades (environ)		
	19 600	61 600	15 400	19 600	38 500	21 700	0

ANNEXE E : ETAT D'AVANCEMENT DES EXPERIMENTATIONS DU COPIC

Villes pilotes (typologie)	ETATS DES LIEUX			
	modélisation de l'exposition (CSTB)	mesures de l'exposition (INERIS)	modélisation de la couverture (ATDI)	mesures de la qualité de service (GET)
Grenoble (urbain moderne dense)				
Paris XIV (centre ville ancien dense)				
Grand Champ (rural relief faible)				
Kruth (rural zone montagneuse)				
Thiers (périurbain peu dense)				
Courbevoie (haute densité)				
Brest (périurbain peu dense)				
Cannes (centre ville ancien dense)				
Coufouleux (rural relief faible)				
La Rochelle (urbain moderne dense)				
Chassieu (périurbain peu dense)				
Paris XV (centre ville ancien dense)				
Lavelanet (rural zone montagneuse)				
Plaine Commune - Saint Denis (centre ville ancien dense)				
Saint Denis de la Réunion (urbain moderne dense)				
Saint-Mandé (centre ville ancien dense)				

Légende

	tâche réalisée
	intervention programmée ou traitement des données en cours
	ville non retenue pour une opération donnée ou opération annulée

Villes pilotes (typologie)	SIMULATION D'ABAISSEMENT DE PUISSANCE	EXPERIMENTATION TERRAIN D'ABAISSEMENT DE PUISSANCE	SIMULATION DE RECONFIGURATION
	CSTB + ATDI	ATDI + GET	CSTB + ATDI
Grenoble (urbain moderne dense)	0,6 V/m		
Paris XIV (centre ville ancien dense)	0,6 V/m et 1 V/m		
Grand Champ (rural relief faible)	0,6 V/m	échangé avec Coufouleux	
Kruth (rural zone montagneuse)	sans objet		
Thiers (périurbain peu dense)	0,6 V/m		
Courbevoie (haute densité)	0,6 V/m		
Brest (périurbain peu dense)	0,6 V/m		
Cannes (centre ville ancien dense)	0,6 V/m		
Coufouleux (rural relief faible)	0,6 V/m		
La Rochelle (urbain moderne dense)	0,6 V/m		
Chassieu (périurbain peu dense)	0,6 V/m		
Paris XV (centre ville ancien dense)	0,6 V/m		
Lavelanet (rural zone montagneuse)	0,6 V/m		
Plaine Commune - Saint Denis (centre ville ancien dense)	0,6 V/m et 1,5 V/m		
Saint Denis de la Réunion (urbain)	0,6 V/m		
Saint-Mandé (centre ville ancien)	0,6 V/m		

Légende

	tâche réalisée
	intervention programmée ou traitement des données en cours
	ville non retenue pour une opération donnée ou opération annulée

SIMULATION IMPACT 4G	
CSTB	Villes pilotes (typologie)
	Grenoble (urbain moderne dense)
	Paris XIV (centre ville ancien dense)
	Grand Champ (rural relief faible)
	Kruth (rural zone montagneuse)
	Thiers (périurbain peu dense)
	Courbevoie (haute densité)
	Brest (périurbain peu dense)
	Cannes (centre ville ancien dense)
	Coufouleux (rural relief faible)
	La Rochelle (urbain moderne dense)
	Chassieu (périurbain peu dense)
	Paris XV (centre ville ancien dense)
	Lavelanet (rural zone montagneuse)
	Plaine Commune - Saint Denis (centre ville ancien dense)
	Saint Denis de la Réunion (urbain moderne dense)
	Saint-Mandé (centre ville ancien dense)

Légende

	tâche réalisée
	intervention programmée ou traitement des données en cours
	ville non retenue pour une opération donnée ou opération annulée

ANNEXE F : RESULTATS DE L'ETAT DES LIEUX POUR LA COUVERTURE

Exemple des résultats obtenus pour la ville de Grenoble :

- Tableau récapitulatif des résultats de simulation de couverture des réseaux des 3 opérateurs dans la ZE :

Surface totale ZE (km²)												
6.711												
Surface Extérieur ZE (km²)												
5.025												
Surface Intérieur ZE (km²)												
1.686												
	BYT				ORA				SFR			
	900 +1800	3G Voix	HSDPA (>=100kbps)	Ec/I0 >= -14dB	900 +1800	3G Voix	HSDPA (>=100kbps)	Ec/I0 >= -14dB	900 +1800	3G Voix	HSDPA (>=100kbps)	Ec/I0 >= -14dB
EXTERIEUR	100.00% 5.02 km²	100% 5.025 km²	100% 5.025 km²	100% 5.025 km²	100.00% 5.02 km²	100% 5.025 km²	100% 5.025 km²	100% 5.025 km²	100.00% 5.02 km²	100% 5.025 km²	100% 5.025 km²	100% 5.025 km²
INTERIEUR APRES PREMIER MUR	80.82% 1.36 km²	72.87% 1.229 km²	72.87% 1.229 km²	72.87% 1.229 km²	84.60% 1.43 km²	65.10% 1.098 km²	65.10% 1.098 km²	65.10% 1.098 km²	86.67% 1.46 km²	72.05% 1.215 km²	72.05% 1.215 km²	72.05% 1.215 km²
INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	59.41% 1.00 km²	50.07% 0.844 km²	50.07% 0.844 km²	50.07% 0.844 km²	68.46% 1.15 km²	45.86% 0.773 km²	45.86% 0.773 km²	45.86% 0.773 km²	70.01% 1.18 km²	53.92% 0.909 km²	53.92% 0.909 km²	53.92% 0.909 km²

Surface extérieure ZE : toutes les surfaces hors bâtis à l'intérieur de la ZE (rues, routes, forêt)

Intérieur 1^{er} mur : surfaces correspondant à un intérieur d'habitation avec ouverture ou fenêtre

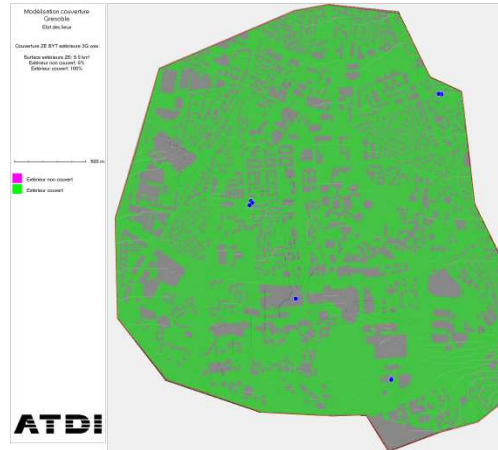
Intérieur 2^{ème} mur : surfaces correspondant à un intérieur d'habitation sans ouverture (toilettes, cuisine...)

900+1800 : fréquences 2G

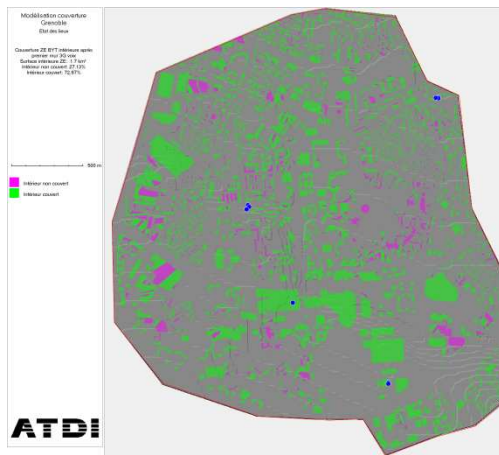
HSDPA : High Speed Downlink Packet Acces, norme parfois appelée 3G+, permettant un accès internet mobile

Ec/I0 : Critère de couverture minimal requis sur le canal pilote (signalisation) pour une couverture 3G voix ou HSDPA.

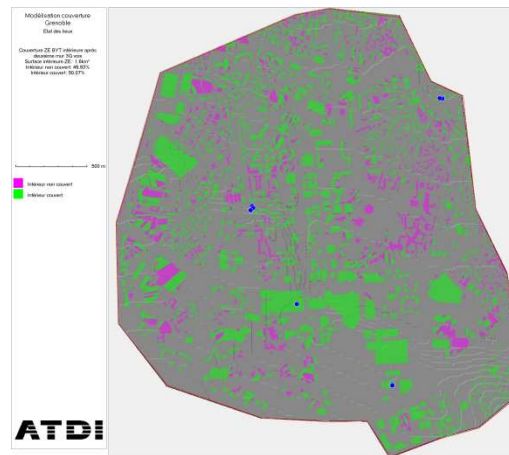
- Carte de couverture pour les appels voix en 3G pour un opérateur en extérieur, intérieur après premier mur et intérieur après deuxième mur :



3G voix extérieur



3G voix intérieur 1er mur



3G voix intérieur 2ème mur

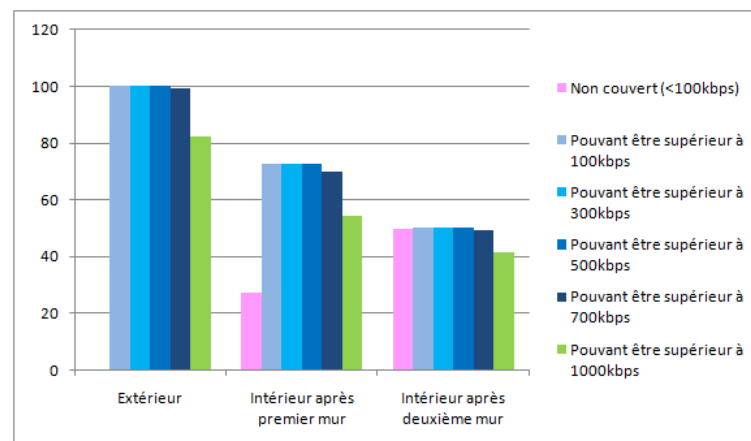
Les zones couvertes apparaissent en vert, les non couvertes en rose. On peut constater une première dégradation après le premier mur puis une dégradation plus importante de la couverture pour la 3G voix en intérieur deuxième mur.

- Tableau récapitulatif des simulations de couverture, pour les 3 opérateurs, en fonction des débits HSDPA (internet mobile)

HSDPA (BT)								
Exterieur	Non couvert (< 100Kbps)	0 % 0.000km²	Intérieur après premier mur	Non couvert (< 100Kbps)	27.15% 0.457km²	Intérieur après deuxième mur	Non couvert (< 100Kbps)	49.93% 0.841km²
	Pouvant être supérieur à 100Kbps	100 % 5.625km²		Pouvant être supérieur à 100Kbps	72.87% 1.129km²		Pouvant être supérieur à 100Kbps	50.07% 0.844km²
	Pouvant être supérieur à 300Kbps	100 % 5.625km²		Pouvant être supérieur à 300Kbps	72.87% 1.129km²		Pouvant être supérieur à 300Kbps	50.07% 0.844km²
	Pouvant être supérieur à 500Kbps	99.99% 5.625km²		Pouvant être supérieur à 500Kbps	72.79% 1.127km²		Pouvant être supérieur à 500Kbps	50.06% 0.844km²
	Pouvant être supérieur à 700Kbps	99.26% 4.985km²		Pouvant être supérieur à 700Kbps	70.01% 1.180km²		Pouvant être supérieur à 700Kbps	49.40% 0.833km²
	Pouvant être supérieur à 1000Kbps	81.06% 4.125km²		Pouvant être supérieur à 1000Kbps	54.14% 0.913km²		Pouvant être supérieur à 1000Kbps	41.46% 0.696km²
HSDPA (ORA)								
Exterieur	Non couvert (< 100Kbps)	0 % 0.000km²	Intérieur après premier mur	Non couvert (< 100Kbps)	34.90% 0.588km²	Intérieur après deuxième mur	Non couvert (< 100Kbps)	54.34% 0.911km²
	Pouvant être supérieur à 100Kbps	100 % 5.625km²		Pouvant être supérieur à 100Kbps	65.10% 1.098km²		Pouvant être supérieur à 100Kbps	45.86% 0.773km²
	Pouvant être supérieur à 300Kbps	99.24% 4.987km²		Pouvant être supérieur à 300Kbps	65.10% 1.098km²		Pouvant être supérieur à 300Kbps	45.86% 0.773km²
	Pouvant être supérieur à 500Kbps	89.66% 4.502km²		Pouvant être supérieur à 500Kbps	64.51% 1.088km²		Pouvant être supérieur à 500Kbps	45.54% 0.768km²
	Pouvant être supérieur à 700Kbps	64.64% 3.249km²		Pouvant être supérieur à 700Kbps	55.65% 0.938km²		Pouvant être supérieur à 700Kbps	40.99% 0.691km²
	Pouvant être supérieur à 1000Kbps	33.59% 1.688km²		Pouvant être supérieur à 1000Kbps	33.10% 0.524km²		Pouvant être supérieur à 1000Kbps	26.34% 0.441km²
HSDPA (SFR)								
EXTERIEUR	Non couvert (< 100Kbps)	0 % 0.000km²	INTERIEUR APRES PREMIER MUR	Non couvert (< 100Kbps)	27.95% 0.471km²	INTERIEUR APRES DEUXIEME MUR	Non couvert (< 100Kbps)	46.08% 0.777km²
	Pouvant être supérieur à 100Kbps	100 % 5.625km²		Pouvant être supérieur à 100Kbps	72.05% 1.115km²		Pouvant être supérieur à 100Kbps	53.92% 0.909km²
	Pouvant être supérieur à 300Kbps	99.37% 4.944km²		Pouvant être supérieur à 300Kbps	71.91% 1.113km²		Pouvant être supérieur à 300Kbps	53.89% 0.908km²
	Pouvant être supérieur à 500Kbps	81.31% 4.140km²		Pouvant être supérieur à 500Kbps	68.10% 1.148km²		Pouvant être supérieur à 500Kbps	51.94% 0.876km²
	Pouvant être supérieur à 700Kbps	54.57% 2.742km²		Pouvant être supérieur à 700Kbps	49.53% 0.835km²		Pouvant être supérieur à 700Kbps	42.06% 0.706km²
	Pouvant être supérieur à 1000Kbps	17.06% 0.154km²		Pouvant être supérieur à 1000Kbps	16.15% 0.172km²		Pouvant être supérieur à 1000Kbps	14.35% 0.241km²

- Résultats de couverture HSDPA, en fonction des débits, pour un opérateur

Grenoble								
Surface totale ZE (km²)	6.71							
Surface Outdoor ZE (km²)	5.025							
Surface Indoor ZE (km²)	1.686							
HSDPA (BYT)								
Exterieur	Non couvert (<100kbps)	0 % 0.000 km²	Intérieur après premier mur	Non couvert (<100kbps)	27.13 % 0.457 km²	Intérieur après deuxième mur	Non couvert (<100kbps)	49.93 % 0.842 km²
	Pouvant être supérieur à 100Kbps	100 % 5.025 km²		Pouvant être supérieur à 100Kbps	72.87 % 1.229 km²		Pouvant être supérieur à 100Kbps	50.07 % 0.844 km²
	Pouvant être supérieur à 300Kbps	100 % 5.025 km²		Pouvant être supérieur à 300Kbps	72.87 % 1.229 km²		Pouvant être supérieur à 300Kbps	50.07 % 0.844 km²
	Pouvant être supérieur à 500Kbps	99.99 % 5.025 km²		Pouvant être supérieur à 500Kbps	72.79 % 1.227 km²		Pouvant être supérieur à 500Kbps	50.06 % 0.844 km²
	Pouvant être supérieur à 700Kbps	99.20 % 4.985 km²		Pouvant être supérieur à 700Kbps	70.01 % 1.180 km²		Pouvant être supérieur à 700Kbps	49.40 % 0.833 km²
	Pouvant être supérieur à 1000Kbps	82.08 % 4.125 km²		Pouvant être supérieur à 1000Kbps	54.14 % 0.913 km²		Pouvant être supérieur à 1000Kbps	41.46 % 0.699 km²



- Carte de couverture pour une connexion mobile à internet en 3G pouvant aller jusqu'à 1 Mégabit/seconde pour un opérateur en extérieur, intérieur après premier mur et intérieur après deuxième mur :



HSDPA extérieur



HSDPA intérieur après 1er mur

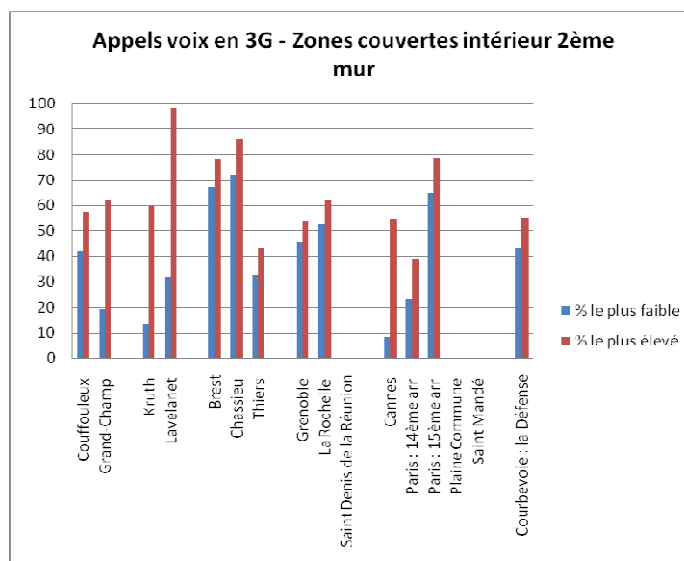
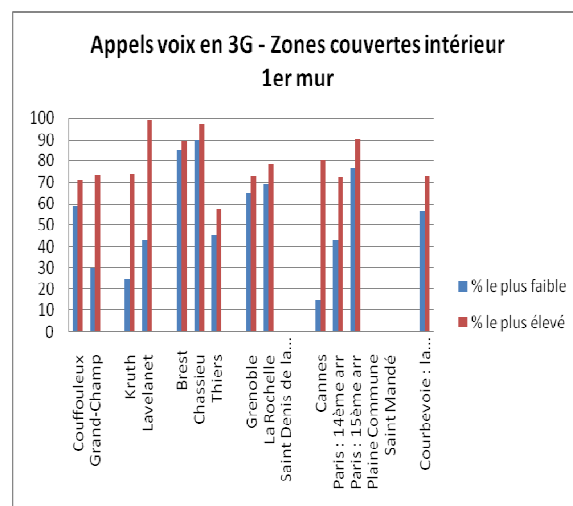
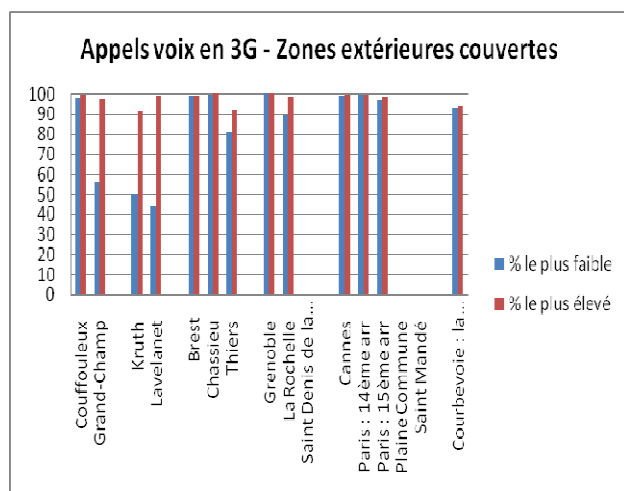


HSDPA intérieur après 2^{ème} mur

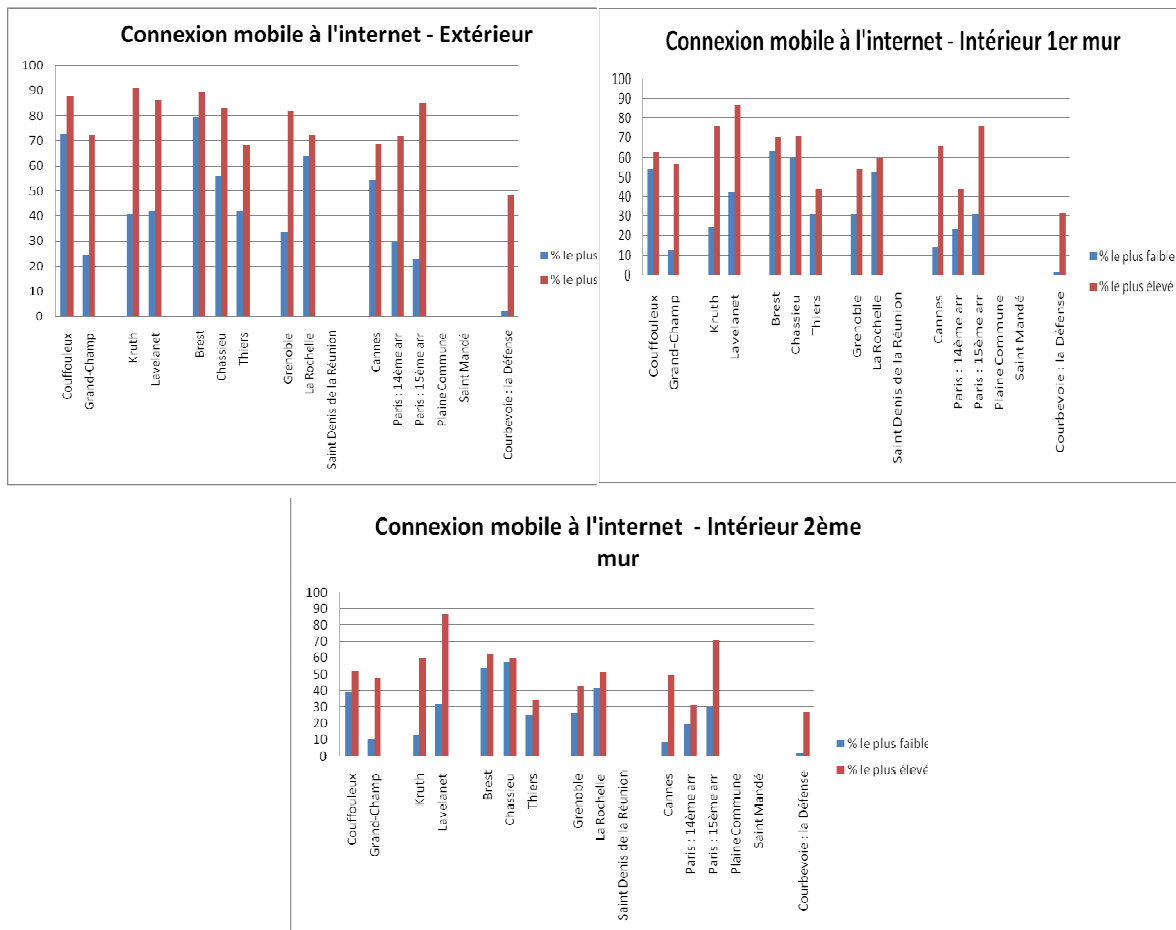
Une fois encore, on constate en rose, une première dégradation de la couverture en intérieur après premier mur, puis une dégradation plus importante après le deuxième mur.

Synthèse des résultats pour l'ensemble des villes pilotes :

- Couverture pour les appels voix en 3G :



- Couverture permettant une connexion mobile à l'internet en 3G avec un débit pouvant aller jusqu'à 1 Mégabit par seconde :



ANNEXE G : RESULTATS DE L'ETAT DES LIEUX POUR LA QUALITE DE SERVICE

Exemple du traitement de la ville de La Rochelle :

- Mesures voix

<u>Communication vocales</u>	<u>Opérateur A</u>	<u>Opérateur B</u>	<u>Opérateur C</u>
-			
<u>Nombre de mesures</u>	<u>361</u>	<u>361</u>	<u>361</u>
<u>Taux de communications réussies et maintenues 2 minutes (%)</u>	<u>96%</u>	<u>89%</u>	<u>95%</u>
<u>Précision statistique(%)</u>	<u>2,2</u>	<u>3,3</u>	<u>2,2</u>
<u>Taux de communications réussies et maintenues 2 minutes et de qualité parfaite (%)</u>	<u>90%</u>	<u>86%</u>	<u>91%</u>
<u>Précision statistique(%)</u>	<u>3,2</u>	<u>3,6</u>	<u>3</u>
<u>Taux de communications réussies et maintenues 2 minutes et de qualité correcte (%)</u>	<u>94%</u>	<u>88%</u>	<u>94%</u>
<u>Précision statistique (%)</u>	<u>2,6</u>	<u>3,5</u>	<u>2,6</u>

- Mesures Data

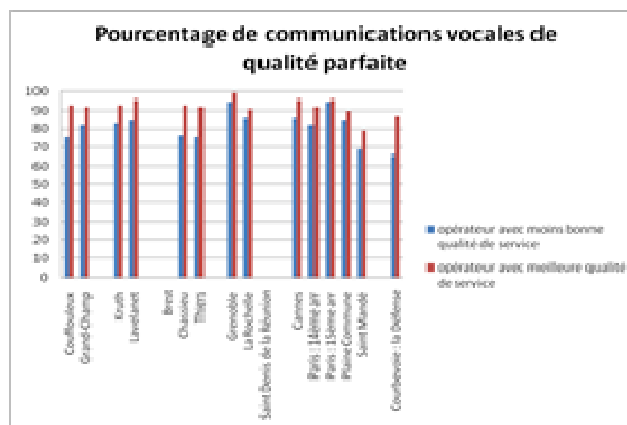
<u>Connexions data</u>	<u>Opérateur A</u>	<u>Opérateur B</u>	<u>Opérateur C</u>
-			
<u>Nombre de mesures</u>	<u>302</u>	<u>301</u>	<u>301</u>
<u>Taux de connexions réussies (%)</u>	<u>96%</u>	<u>97%</u>	<u>95%</u>
<u>Précision statistique</u>	<u>2,3</u>	<u>2,0</u>	<u>2,5</u>

<u>Envoi de fichiers de 1 Mo</u>	<u>Opérateur A</u>	<u>Opérateur B</u>	<u>Opérateur C</u>
-	<u>Etat des Lieux</u>	<u>Etat des Lieux</u>	<u>Etat des Lieux</u>
<u>Nombre de mesures</u>	<u>151</u>	<u>151</u>	<u>151</u>
<u>Taux de fichiers de 1 Mo envoyés</u>	<u>94.0%</u>	<u>96.0%</u>	<u>92.7%</u>
<u>Précision statistique</u>	<u>3.8</u>	<u>3.2</u>	<u>4.2</u>
<u>Débit de données atteint pour 90% des fichiers envoyés (b/s)</u>	<u>564 474</u>	<u>223 543</u>	<u>375 903</u>
<u>Débit de données atteint pour 50% des fichiers envoyés (b/s)</u>	<u>1 099 442</u>	<u>814 366</u>	<u>932 967</u>
<u>Débit de données atteint pour 10% des fichiers envoyés (b/s)</u>	<u>1 529 719</u>	<u>1 332 070</u>	<u>1 203 332</u>

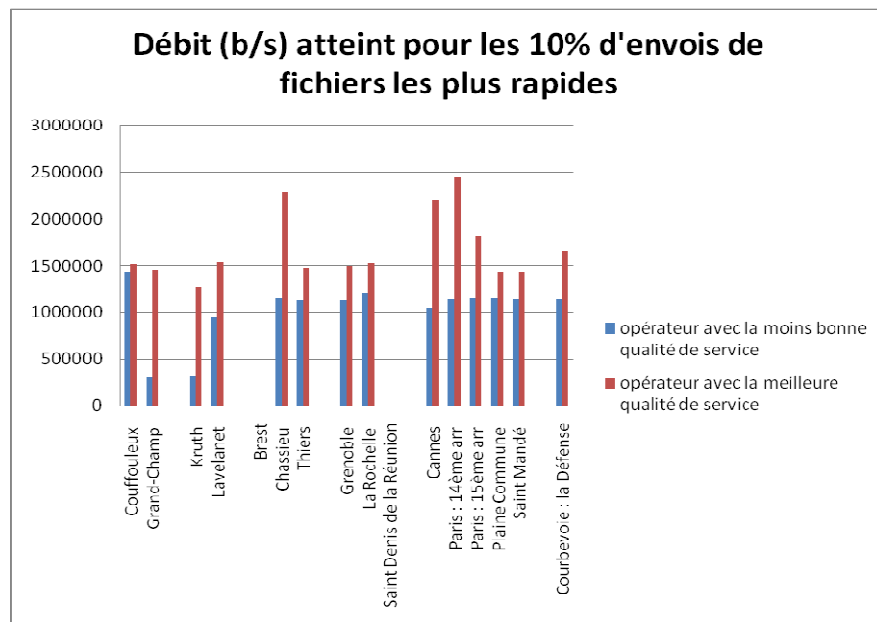
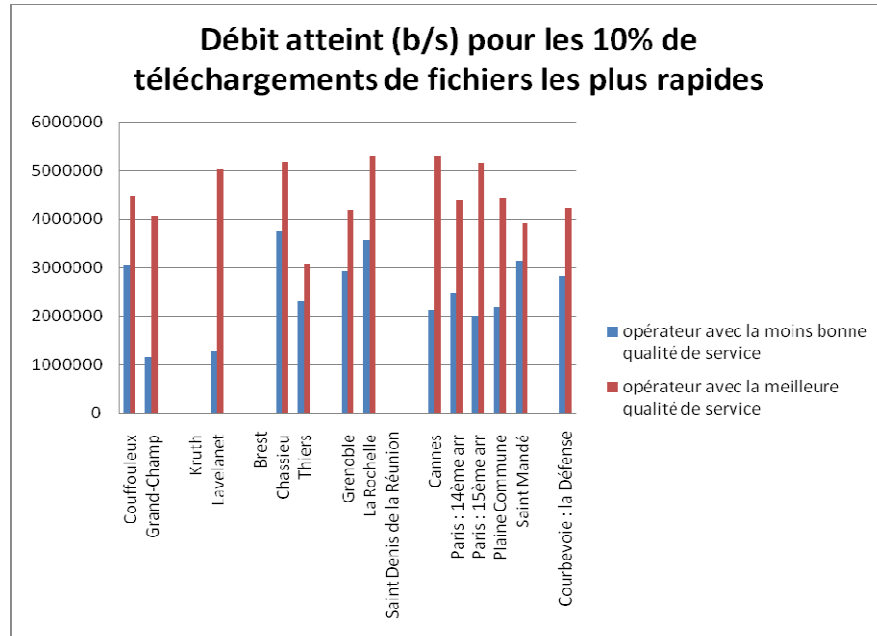
<u>Réception de fichiers de 5 Mo</u>	<u>Opérateur A</u>	<u>Opérateur B</u>	<u>Opérateur C</u>
-	<u>Etat des Lieux</u>	<u>Etat des Lieux</u>	<u>Etat des Lieux</u>
<u>Nombre de mesures</u>	<u>151</u>	<u>150</u>	<u>150</u>
<u>Taux de fichiers de 5 Mo Reçus</u>	<u>94.7%</u>	<u>96.0%</u>	<u>92.7%</u>
<u>Précision statistique</u>	<u>3.6</u>	<u>3.2</u>	<u>4.2</u>
<u>Débit de données atteint pour 90% des fichiers envoyés (b/s)</u>	<u>1 978 138</u>	<u>1 398 023</u>	<u>917 244</u>
<u>Débit de données atteint pour 50% des fichiers envoyés (b/s)</u>	<u>4 036 193</u>	<u>2 655 041</u>	<u>2 518 321</u>
<u>Débit de données atteint pour 10% des fichiers envoyés (b/s)</u>	<u>5 292 667</u>	<u>3 616 641</u>	<u>3 569 871</u>

Synthèse des résultats sur l'ensemble des villes pilotes

- Téléphonie mobile :



- Internet mobile :



ANNEXE H : EXEMPLES DE DEPASSEMENT PONCTUELS DU SEUIL DE 0,6 V/M LORS DES SIMULATIONS DE RECONFIGURATION DU RESEAU D'ANTENNES RELAIS.

Un exemple de dépassement est donné sur la figure ci-dessous : une antenne micro qui a été placée en façade crée localement une petite tâche supérieure à 0,6 volt par mètre. C'est lié au fait que les antennes micro n'ont pas été limitées à 0,6 volt par mètre. De plus, le seuil de 0,6 volt par mètre est en façade, pas au sol.



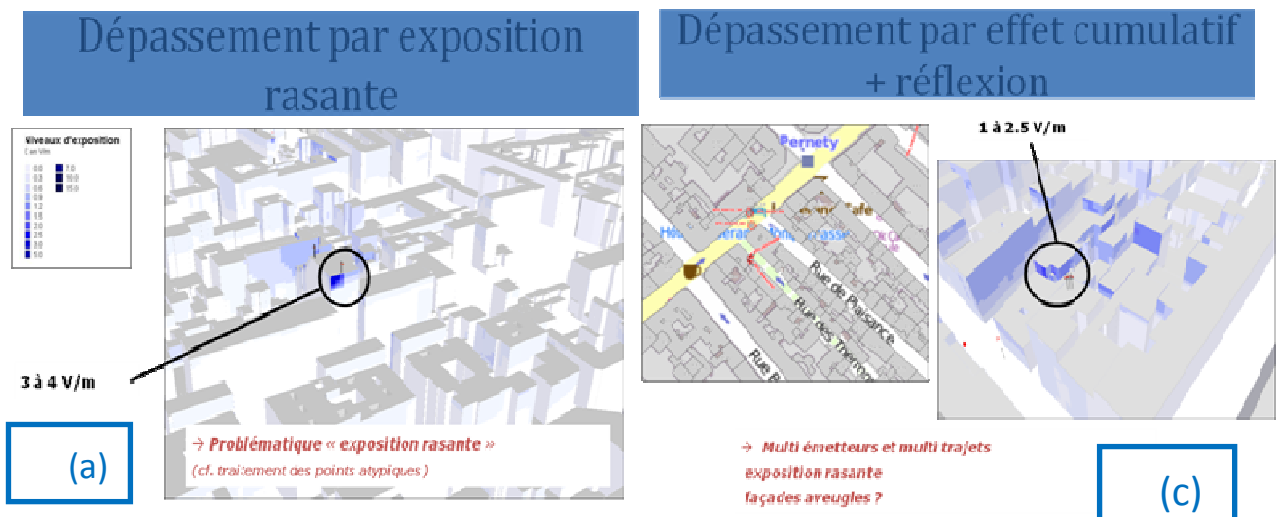
Des exemples de causes de dépassement de la valeur seuil en façade sont donnés sur les figures a, b, c et d suivantes.

Le premier exemple (a) n'est pas un cas problématique puisque c'est une exposition rasante. Le dépassement est observé uniquement en dessous de l'antenne. A l'intérieur, l'exposition sera beaucoup plus faible parce que ce n'est pas une exposition pénétrante.

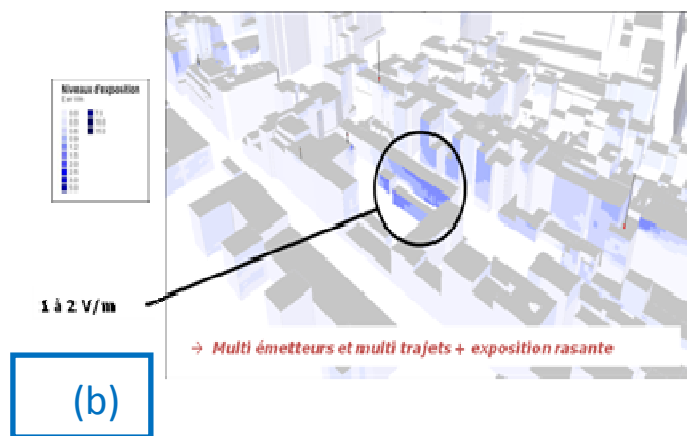
Dans le cas (b) où on est également en tir rasant de l'antenne, avec probablement des effets cumulatifs : plusieurs antennes dans la zone contribuent à l'exposition.

Le cas (c) est probablement, compte tenu de la forme du bâtiment, dû à une réflexion. Il y a un effet de concentration d'ondes. On observe également, par 2 fois, un effet rasant.

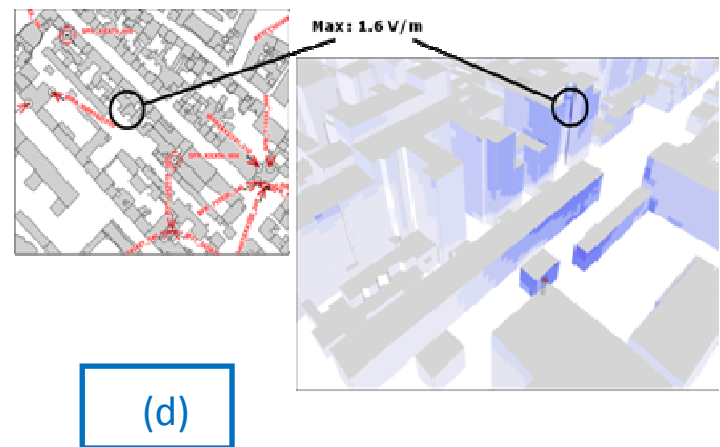
L'exemple (d) est un autre exemple de tir rasant avec dépassement des 0,6 volts par mètre.



Dépassement par exposition rasante



Dépassement par exposition rasante



ANNEXE I : POSITIONS DIVERGENTES DE CERTAINS MEMBRES DU COPIC



Remarques de la Fédération Française des Télécoms sur le projet de rapport en date du 3 juillet 2013

Les travaux techniques du COMOP, présidé par François Brottes, puis du COPIC ont fait l'objet, depuis juillet 2009, d'une mobilisation inédite et de grande ampleur des parties prenantes tant au niveau national qu'au niveau local, dans les 16 communes pilotes. Ces travaux ont donné lieu à 25 réunions plénières du COMOP ou du COPIC, 60 réunions du Groupe Technique, 3 réunions des communes pilotes à Paris, de très nombreuses réunions sur le terrain, ainsi qu'à la production de plusieurs rapports présentant, commune par commune, les travaux et leurs résultats.

Au regard de la complexité tant des travaux techniques que de la gestion du projet dans un cadre pluripartite, la **Fédération Française des Télécoms (FFTélécoms)** salue la **détermination de l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR) et de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR), qui ont réussi à mener à son terme la mission qui avait été confiée en juillet 2009**, dans la continuité de la Table Ronde sur les radiofréquences.

Une première version du rapport a été transmise aux membres du COPIC, le 7 juin, pour avis et commentaires, dans l'objectif d'aboutir à un document de référence :

- **présentant des résultats obtenus de façon à la fois rigoureuse et consensuelle,**
- **intelligible pour toute personne n'ayant pas participé au COMOP et au COPIC.**

La FFTélécoms remercie l'ANFR et la DGPR des clarifications et des précisions qui ont été apportées dans la version du rapport en date du 3 juillet, sur la base des amendements présentés par les parties prenantes le 17 juin. Ces modifications contribuent à améliorer la lisibilité du document. **Dans sa version du 3 juillet, le projet de rapport appelle quatre grands types de remarques et d'amendements :**

- Même si les travaux techniques du COMOP, puis du COPIC ont fait l'objet d'une mobilisation de grande ampleur pendant 4 ans, les simulations de réduction de puissance et les simulations de reconstitution de la couverture utilisent des hypothèses très simplificatrices sur seulement 6 des 11 réseaux mobiles avec un référentiel révolu datant

de 2010. Du fait de ces limitations essentielles, si les simulations permettent d'invalidier un seuil testé, elles ne permettent pas de le valider (1^{ère} partie).

Pour cette raison et parce que seul 0,6 V/m est cité ou demandé sur le terrain, les opérateurs sont opposés à toute nouvelle simulation qui chercherait à évaluer l'impact d'autres chiffres que 0,6 V/m.

- La FFTélécoms tient à ce que le projet de rapport soit amendé sur trois sujets (2^{ème} partie) :
 - o Corriger toute phrase indiquant ou laissant entendre que l'exposition sera réduite ou doit être réduite dans l'ensemble des Points Plus Exposés (PPE) (§ 2.1)
 - o Indiquer les résultats en perte de couverture ainsi que les réserves des opérateurs à propos des simulations visant à ne pas dépasser 1 et 1,5 V/m (§ 2.2)
 - o Présenter les résultats des simulations de l'ajout d'antennes 4G théoriques de façon factuelle, sans appréciation subjective, sans référentiel, ni fondement (§ 2.3)
- Le projet de rapport indique que le COPIC, comme le COMOP, n'a pas de motivation sanitaire. Il n'indique pas, pour autant, une motivation à avoir réalisé ces travaux techniques. **Dans ce contexte, la FFTélécoms souhaite l'ajout dans le rapport des motivations des opérateurs (3^{ème} partie).**
- Enfin, la FFTélécoms constate que plusieurs de ses amendements, en date du 17 juin, visant à préciser ou compléter le rapport n'ont pas été intégrés dans la version du 3 juillet. Elle regrette cette situation et **exprime, à nouveau, son souhait que la version finale du rapport apporte des précisions sur plusieurs sujets (4^{ème} partie).** Des propositions de rédaction figurent, pour chacun de ces sujets, dans le tableau d'amendements transmis le 17 juin.

En complément de cette note et en cohérence avec elle, **la FFTélécoms a présenté, dans deux documents distincts, ses amendements aux deux synthèses figurant au début du rapport.**

Enfin, le rapport fait la synthèse de l'ensemble des travaux menés par le COMOP, puis le COPIC, y compris sur l'information et la concertation. Dans sa version du 3 juillet, il comporte près de 80 pages d'annexes. **Toutefois, cette « somme » serait incomplète sans l'ajout en annexe :**

- des lettres de mission de François Brottes, de la CNCE et du CGEDD
- des fiches élaborées par l'Etat : Antennes-relais, Obligations des opérateurs, Ressources documentaires et Questions-Réponses
- du cahier d'acteurs réunissant les contributions des autres parties prenantes
- **des observations - dont la présente note - reçues des parties prenantes sur le projet de rapport.**

La FFTélécoms attache la plus haute importance à l'ajout de ces documents en annexe dans la version finale et publique du rapport.

1. Limites des simulations de réduction de puissance et des simulations de reconstitution de la couverture :

Les travaux techniques du COMOP, puis du COPIC portent sur les réseaux 2G et 3G tels qu'ils existaient en 2010 et reposent sur des hypothèses très simplificatrices pour toutes les simulations visant à réduire l'exposition ou à compenser les pertes de couverture causées par les réductions de l'exposition.

Ces indications apparaissent au fil du rapport. **Il manque, toutefois, trois éléments essentiels et une conclusion pour la bonne compréhension des résultats du rapport et si l'on veut éviter les malentendus, les interprétations abusives et les extrapolations hasardeuses :**

- Entre la Table Ronde de mai 2009 et la fin des travaux techniques en juillet 2013, en France comme dans le reste du monde, **les utilisateurs sont de plus en plus nombreux à utiliser de plus en plus souvent et de plus en plus longtemps les réseaux mobiles pour accéder à Internet.**

Ils ont de fortes attentes en matière de qualité de service, de débit, de capacité, de services, de la fluidité dans la navigation Internet... Ces attentes évoluent d'année en année. **Ce qui était considéré comme un débit élevé il y a quelques années, apparaît aujourd'hui comme un débit dérisoire.** Il en sera probablement de même demain pour ce qui est considéré aujourd'hui comme un débit élevé.

La couverture et la qualité de service ne sont pas des notions figées dans la téléphonie mobile et dans l'Internet mobile. Elles évoluent avec l'offre, les usages, les terminaux, les applications... bref, l'innovation. En conséquence, un référentiel de qualité de service qui aurait été fixé en 2009 pour l'Internet mobile, serait non seulement caduque en 2013, mais catastrophique pour l'ensemble de la société et de l'économie française.

Concernant les travaux techniques du COMOP, puis du COPIC, il est essentiel de réaliser que ces travaux évaluent une dégradation de la couverture par rapport à un référentiel caduque datant de 2010 et qu'ils s'attachent à reconstituer la couverture du référentiel de 2010, sans tenir compte de l'évolution des usages, des débits et du trafic depuis 2010.

- **Entre mai 2009 et juillet 2013, les pouvoirs publics ont décidé d'attribuer huit autorisations pour l'utilisation de fréquences en contrepartie, notamment, de l'obligation pour les opérateurs de déployer un nouveau réseau 3G et quatre nouveaux réseaux 4G.** Ces décisions s'inscrivent dans les politiques publiques en faveur du Très Haut Débit pour tous, de l'investissement, de l'innovation et de l'aménagement numérique du territoire.

Les réseaux mobiles qui sont en cours de déploiement n'ont pas été pris en compte dans les travaux techniques du COMOP, puis du COPIC. Il en est a fortiori de même pour les futurs réseaux qui utiliseront la bande 700 MHz et pour les futurs réseaux 5G.

En conséquence, les réductions de puissance, calculées en vue de ne pas dépasser le seuil testé, sont, toutes, sous-évaluées par rapport à l'état connu des réseaux. Il en est de même pour les pertes de couverture et pour le nombre d'antennes qu'il s'agirait d'ajouter en vue de reconstituer une couverture et des services qui, en toute logique, devraient être ceux d'aujourd'hui – et non pas ceux de 2010.

- **Enfin, les hypothèses utilisées pour les simulations du COMOP, puis du COPIC sont des hypothèses très simplificatrices qui aboutissent à ne pas prendre en compte les clients (usages actuels, volume du trafic, qualité de service, exposition des utilisateurs...), les bailleurs (accord ou non à l'ajout d'antennes ?), les riverains et parents d'élèves (acceptation ou non de l'ajout d'antennes ?), les réalités du bâti (possibilité ou non d'installer une antenne à l'emplacement indiqué par la simulation ?), ainsi que les fréquences (pas de planification visant à éviter les brouillages).**

Cette présentation du caractère très simplificateur des hypothèses est plus concrète et plus facile à comprendre que la présentation technique figurant dans le projet de rapport ou dans la synthèse. Il est important qu'elle soit reprise telle quelle, a minima dans la synthèse du rapport.

Ces trois éléments, pris individuellement et a fortiori lorsqu'ils sont cumulés, conduisent à une conclusion qu'il est essentiel d'indiquer explicitement : **les simulations de réduction de puissance et les simulations de reconstitution de la couverture produisent des résultats sous-évalués par rapport à la réalité qui est celle d'aujourd'hui** et qui ne peut pas être située en 2010, sur la base d'un référentiel caduque.

En d'autres termes, si les simulations réalisées dans le cadre du COMOP, puis du COPIC montrent que quelque chose ne fonctionne pas, a fortiori ce quelque chose ne pourra pas fonctionner, aujourd'hui, dans les conditions réelles d'exploitation des réseaux mobiles et des services mobiles.

En revanche, si les simulations montrent que quelque chose pourrait fonctionner, moyennent des pertes de couverture et des ajouts d'antennes qualifiés de « limités », « acceptables » ou « raisonnables », cela ne signifie, en aucune façon, que ce quelque chose pourrait fonctionner avec les réalités d'aujourd'hui.

Au final, les simulations du COMOP, puis du COPIC permettent d'invalider un seuil testé ; elles ne permettent pas de le valider. Ceci doit figurer explicitement dans le rapport et dans sa synthèse.

Au regard de ce qui précède, des simulations qui testeraient différents chiffres supérieurs à 0,6 V/m **finiraient, par approximations successives avec des chiffres de plus en plus élevés, par donner la fausse impression que les réseaux mobiles pourraient fonctionner avec l'un de ces chiffres.**

Il serait, ensuite, impossible d'expliquer que cette impression est fausse et que la réalité est toute autre !

De plus, quand un chiffre est cité ou demandé sur le terrain, **ce chiffre est toujours 0,6 V/m.** Il suffit de participer aux réunions publiques ou de lire les articles de presse pour le constater.

Face à cette situation et au-delà de la construction de réponses techniques fondées sur des simulations éloignées de la réalité, il convient de s'interroger ce que serait l'objectif de simulations visant à ne pas dépasser des seuils supérieurs à 0,6 V/m.

Ces simulations sans fondement scientifique, ni réalité sociétale contribueraient-elles à améliorer la confiance du public, à ramener de la sérénité dans le déploiement des réseaux, à renforcer la sécurité juridique des investissements, à réaliser les politiques publiques d'aménagement numérique de la France ?... La réponse est négative pour chacun de ces items.

Au contraire, de nouvelles simulations conduiraient à dévaloriser les résultats issus de 4 ans de travaux rigoureux et consensuels, à renforcer les supporters d'un seuil à 0,6 V/m puisque ce chiffre serait désormais à portée de main, à saper les fondements de la réglementation actuelle en matière d'exposition aux ondes radio et à nourrir le climat anxigène à l'encontre des antennes-relais.

La situation des quelques pays qui ont fait le choix de sortir des seuils OMS pour l'exposition ambiante du public aux ondes radio, montre clairement que ce choix ne résout rien !

Parce que les simulations sont éloignées de la réalité, parce qu'elles ne permettent pas de valider un seuil testé et parce que seul le chiffre de 0,6 V/m est demandé sur le terrain, les opérateurs sont opposés à toute nouvelle simulation qui chercherait à évaluer l'impact d'autres chiffres que 0,6 V/m.

Pour la même raison, ils demandent la plus grande prudence et la plus grande vigilance dans la présentation des résultats des simulations visant à ne pas dépasser 1 V/m à Paris 14^{ème} et 1,5 V/m à Plaine-Commune (cf. § 2.2 de cette note)

2. Demandes d'amendement sur les analyses et conclusions tirées de certains travaux :

2.1. Corriger toute phrase indiquant ou laissant entendre que l'exposition sera réduite ou doit être réduite dans l'ensemble des Points Plus Exposés (PPE)

Dans son document du 17 juin, la FFTélécoms avait formulé plusieurs amendements visant à **mettre en perspective les travaux sur une sélection de PPE dans la démarche d'identification et de traitement des points atypiques**. Elle regrette que ces amendements n'aient pas été retenus dans la version du 3 juillet.

La FFTélécoms ne souscrit pas au parti pris, à ce stade, d'occultation des points atypiques, de réécriture des travaux et d'écarts manifestes avec :

- la description générale des études, finalisée début 2010, qui est le socle des cahiers des charges techniques et qui inclut explicitement le traitement des points atypiques ;
- les présentations faites par l'ANFR au COMOP, puis au COPIC sur les travaux techniques ;
- les ordres du jour et les verbatim des réunions du COMOP, puis du COPIC ;
- les ordres du jour et les comptes-rendus des réunions du Groupe Technique ;
- les recommandations de François Brottes dans son rapport d'août 2011 sur les points atypiques.

Tout au long des travaux du COMOP, puis du COPIC, l'expression « Points Plus Exposés ou PPE » a été utilisée pour désigner les points les plus exposés dans chacune des 16 zones

d'expérimentation au regard des niveaux d'exposition uniquement dans cette zone, donc sur la base d'un référentiel local.

Le rapport indique que **128 PPE** ont été identifiés pendant l'état des lieux (p. 63, ligne 3). Dans le paragraphe 2.3.3.1, il présente un graphique analysant la répartition des niveaux mesurés aux PPE. Il en ressort que **l'exposition mesurée dans les 128 PPE est inférieure à 2 V/m dans la grande majorité des 128 PPE, qu'elle est inférieure à 4 V/m dans environ 90% des PPE et qu'elle dépasse 6 V/m dans seulement quelques PPE.** Il est, hélas, impossible d'être plus précis, en l'absence des informations détaillées que la FFTélécoms avait demandées pour ce graphique dans ses amendements du 17 juin.

Tout au long des travaux du COMOP, puis du COPIC, il n'a jamais été question que les 128 PPE identifiés dans les 16 zones d'expérimentation, puis tous les millions de PPE qui seraient identifiés, plus tard, dans d'autres zones feraient l'objet d'un traitement visant à réduire leur exposition.

Il est essentiel de réaliser qu'il suffit de définir une zone pour y trouver des PPE puisque dans chaque zone, fût-elle un appartement, il existe des points plus exposés que les autres.

En conséquence, la FFTélécoms tient à ce que :

- **le titre du chapitre 3 soit modifié comme suit : « Analyse de quelques PPE en vue de l'identification et du traitement des points atypiques »**
- **les phrases des chapitres 1, 2 et 3, indiquant que les PPE font l'objet, feront l'objet ou doivent faire l'objet d'une réduction de l'exposition, soient corrigées.**

Parce qu'elle reflète la réalité comme en attestent de nombreux documents, la façon la plus simple de corriger ces phrases est d'indiquer que :

- **conformément au cahier des charges, le COMOP, puis le COPIC a mené des travaux sur quelques PPE en vue de l'identification des points atypiques et de la réduction de l'exposition dans ces points ;**
- **7 PPE ont été sélectionnés parce que les niveaux d'exposition qui y ont été mesurés, étaient parmi les plus élevés des 128 PPE identifiés ;**
- **ces 7 PPE ont fait l'objet de simulations visant à y réduire l'exposition par des modifications d'ingénierie ou d'emplacement d'antenne ;**
- **parmi ces 7 PPE, 3 PPE ont fait l'objet de mesures sur le terrain et un seul PPE a fait l'objet d'une expérimentation sur le terrain.**

En plus des corrections demandées ci-dessus, la FFTélécoms maintient sa demande d'amendement concernant le paragraphe 3.4, qui conclut le chapitre 3 :

En vue de l'identification des points atypiques, les travaux du COPIC ont mis en évidence des configurations favorisant les expositions les plus élevées et qui présentent les caractéristiques suivantes :

- **immeuble faisant face à l'antenne (hors incidence rasante) à une distance réduite**
- **faisceau de l'antenne interceptant l'immeuble.**

En vue du traitement des points atypiques, les travaux du COPIC sur l'un des 3 PPE sélectionnés montrent qu'il est possible de réduire l'exposition par différentes solutions

techniques (modification des caractéristiques de l'antenne, déplacement limité de celle-ci...) et, dans le cas présent, que la solution technique retenue n'entraîne pas de dégradation de la couverture. Néanmoins il convient d'ajouter qu'une modification de l'antenne visant à réduire l'exposition en un point peut aussi augmenter l'exposition dans d'autres points, mais à des niveaux inférieurs à l'exposition maximale initiale. Enfin, les travaux sur les 3 PPE sélectionnés ont mis en lumière d'autres difficultés telles que l'impossibilité d'accéder à un logement pour y mesurer l'exposition ou les évolutions au cours du temps du bâti (pose d'un double vitrage...) ou des réseaux de téléphonie mobile – évolutions qui nécessitent d'actualiser les données sur l'exposition par une mesure avant d'enclencher tout traitement du point identifié comme atypique.

2.2. Indiquer les résultats en perte de couverture ainsi que les réserves des opérateurs à propos des simulations visant à ne pas dépasser 1 et 1,5 V/m

Concernant les simulations visant à ne pas dépasser 1 et 1,5 V/m, le résultat mis en avant dans la version du 3 juillet est une « *moindre dégradation de la couverture* » (synthèse) ou « *une amélioration de l'ordre de 20 à 30 points de pourcentage en 2G par rapport à un abaissement à 0,6 V/m* » (§ 4.2.1.3).

La FFTélécoms est défavorable à cette présentation car elle induit un raisonnement faux selon lequel il serait possible, en augmentant progressivement le seuil testé, d'identifier un chiffre permettant le fonctionnement des réseaux mobiles, moyennant des pertes « raisonnables / acceptables » ou l'ajout d'un nombre « raisonnable / acceptable » d'antennes-relais.

En conséquence, la FFTélécoms tient à ce que les simulations visant 1 et 1,5 V/m ne soient pas présentées comme une étude de « *l'influence de la dégradation de couverture aux seuils d'abaissement* » (titre actuel du 4.2.1.3) et que les éléments ci-après soient ajoutés au paragraphe 4.2.1.3 du rapport.

Les simulations visant à ne pas dépasser d'autres chiffres que 0,6 V/m ont été réalisées sans qu'il y ait consensus parmi les membres du COMOP, puis du COPIC. Les opérateurs étaient défavorables à ces simulations parce qu'aucun autre chiffre que 0,6 V/m n'est demandé sur le terrain et parce que l'utilisation d'hypothèses très simplificatrices sur seulement 6 des 11 réseaux mobiles avec un référentiel caduque datant de 2010, ne peut pas produire de résultats permettant de valider les chiffres testés.

Les simulations qui ont cherché à ne pas dépasser 1 V/m à Paris 14^{ème} et 1,5 V/m à Plaine Commune ont abouti, elles aussi, à de fortes dégradations de la couverture à l'intérieur des bâtiments : pertes de 60 à 80% à Paris 14^{ème} et pertes de 30 à 40% à Plaine-Commune.

2.3. Présenter les résultats des simulations de l'ajout d'antennes 4G théoriques de façon factuelle, sans appréciation subjective, sans référentiel, ni fondement

La FFTélécoms prend acte des précisions qui ont été apportées dans la présentation des résultats des simulations visant à évaluer l'impact de l'ajout d'antennes-relais 4G théoriques avec des hypothèses majorantes. Il est effectivement essentiel de compléter l'augmentation exprimée en valeur relative (50%) par l'augmentation exprimée en valeur absolue.

Au-delà de l'exposition moyenne qui a été un indicateur peu utilisé par le COMOP, puis le COPIC et au-delà de l'évolution de cette exposition dans une seule des 16 communes-pilotes

(Paris 14^{ème}), il est important d'exprimer l'augmentation de 50% de l'exposition par rapport aux niveaux modélisés dans l'état des lieux pour 50% des points, pour 90% des points et pour 99% des points dans les 16 communes-pilotes.

Si tous les émetteurs 2G, 3G et 4G fonctionnaient en même temps à puissance maximale, l'ajout de la 4G conduirait ainsi à des niveaux modélisés d'exposition inférieurs à 0,2 V/m dans 50% des points, inférieurs à 1,0 V/m dans 90% des points et inférieurs à 4,1 V/m dans 99% des points.

La présentation de ces chiffres est, de loin, préférable à l'appréciation subjective, sans référentiel, ni fondement, qui qualifie de « significative » l'augmentation de l'exposition au paragraphe 5.3.

Au regard des niveaux modélisés, des seuils réglementaires et de l'état des connaissances scientifiques, la FFTélécoms demande que l'appréciation subjective soit supprimée et remplacée par le texte ci-après :

Les simulations montrent que l'exposition augmente, mais continue d'être très inférieure aux seuils réglementaires avec l'ajout de la 4G.

3. Motivation des opérateurs à avoir participé aux travaux techniques du COMOP, puis du COPIC :

La FFTélécoms souhaite, notamment pour des raisons juridiques, l'ajout du texte ci-après dans le 1^{er} chapitre du rapport de synthèse :

Les opérateurs télécoms ont participé aux travaux techniques du COMOP, puis du COPIC :

- dans l'objectif de construire avec les autres parties prenantes des données fiables qui feront référence sur l'exposition réelle du public aux antennes-relais et aux autres sources d'ondes radio,
- avec la volonté d'améliorer la confiance et de ramener de la sérénité sur les sujets liés aux ondes radio et au déploiement des réseaux mobiles.

Leur participation à des travaux sans motivation sanitaire s'inscrit à l'intérieur du cadre qui est défini par l'Etat et qui a été, plusieurs fois, rappelé depuis la Table Ronde de mai 2009. Les opérateurs ne sauraient, en effet, être associés à des travaux qui relèveraient, le cas échéant, de la gestion d'un risque sanitaire avéré ou de l'éventualité d'un risque sanitaire.

4. Précisions à apporter dans le rapport et dans la synthèse :

La DGPR et l'ANFR ont dû consolider, en un temps très court, les très nombreux amendements qu'ils ont reçus sur la version du 6 juin du rapport.

La FFTélécoms constate que plusieurs de ses amendements visant à préciser ou compléter le rapport n'ont pas été intégrés dans la version du 3 juillet. Elle regrette cette situation **et exprime, à nouveau, son souhait que la version finale du rapport apporte des précisions sur plusieurs sujets. Des propositions de rédaction figurent, pour chacun de ces sujets, dans le tableau d'amendements transmis le 17 juin.**

- **Les travaux techniques ont comporté deux grandes phases : un état des lieux, puis deux approches visant à réduire l'exposition et menées en parallèle**, à savoir une réduction localisée de l'exposition dans quelques points particulièrement exposés par des modifications d'ingénierie et une réduction de l'exposition dans tous les lieux de vie par la réduction des puissances d'émission. **Le cahier des charges approuvé par le COMOP début 2010 atteste de ce phasage.**
- Les 16 communes-pilotes sélectionnées représentent 6 types d'environnement géographique. Pour autant, **les communes-pilotes ne sont pas représentatives de ces environnements géographiques.** Aucun élément rigoureux ne permet, en tout état de cause, de l'écrire.
- **Les travaux techniques du COMOP, puis du COPIC n'ont pas cherché à évaluer l'impact d'une réduction de l'exposition aux antennes-relais sur l'exposition des utilisateurs de téléphone mobile**, contrairement à ce qui était prévu initialement. De même, ils n'ont pas mis en perspective l'évolution de l'exposition ambiante liée à l'ajout d'antennes 4G avec la division par 100 de l'exposition des utilisateurs, selon que leur mobile fonctionne en 4G ou en 2G.
- **Les travaux techniques du COMOP, puis du COPIC n'ont pas valeur commerciale ou contractuelle sur la couverture ou sur les débits des réseaux de chacun des opérateurs de téléphonie mobile.** Dans le cadre de ses obligations légales et réglementaires, chaque opérateur réalise ses propres simulations afin de produire ses cartes de couverture, dont la validité est contrôlée par l'ARCEP.
- Dans l'ensemble des travaux techniques du COMOP, puis du COPIC, **l'exposition modélisée est une exposition théorique et maximisée** qui fait l'hypothèse, jamais rencontrée dans la réalité, qu'aucun émetteur n'est équipé d'un dispositif d'ajustement automatique des puissances et que tous les émetteurs fonctionnent en même temps à puissance maximale.
- **Les pré requis, les incertitudes et les limites des modélisations de l'exposition sont à indiquer de façon explicite dans le rapport.** Par exemple, les données (forme, hauteur...) relatives aux bâtiments dans les modèles numériques ont été vérifiées sur le terrain – ce qui a entraîné la correction de plus du tiers des bâtiments. Ou encore, une fois le modèle contrôlé et corrigé, chaque émetteur a dû être positionné avec une précision de l'ordre du mètre en se référant aux plans d'architecte.
Concernant les incertitudes, le rapport indique qu'elles sont de 60% pour les trajets directs, qui correspondent, en général, aux cas des points les plus exposés. Il convient d'ajouter :

Les incertitudes sont de 280% pour les trajets réfléchis (présence d'obstacle entre l'émetteur et le point de mesure) et de 460% pour les trajets diffractés (par exemple, influence de l'arrêt d'un bâtiment). En d'autres termes, un niveau modélisé à 1 V/m correspond à une exposition comprise entre 0,6 et 1,6 V/m dans le cas d'un trajet direct, entre 0,3 et 3,8 V/m dans le cas d'un trajet réfléchi et entre 0,2 et 5,6 V/m dans le cas d'un trajet diffracté.

- **Plusieurs résultats des mesures et des modélisations font l'objet d'analyses qui n'ont jamais été évoquées en COMOP, en COPIC et en Groupe Technique.** Plusieurs de ces analyses appellent des réserves et nécessiteraient des travaux complémentaires. Si le rapport doit être finalisé sans délai, **il paraît préférable de supprimer ces analyses.** Ceci

vaut, par exemple, pour l'idée que la moyenne des niveaux d'exposition modélisés au sol peut constituer un indicateur de l'exposition à l'échelle d'une ville, sauf pour les points les plus exposés.

- Le cahier des charges approuvé par le COMOP début 2010 indique que les scénarios de réduction de puissance sont proposés par le Ministère chargé de l'Ecologie et l'ANFR et qu'ils sont, ensuite, validés par le COMOP ou le COPIC. **Il est donc revenu au Ministère et à l'ANFR de proposer les seuils à tester et, notamment, le chiffre de 0,6 V/m qui a été testé dans les 16 communes-pilotes.**
- La modification de l'une des hypothèses pour les simulations à Grenoble (§ 4.1.3, p. 72) a été utilisée par l'une des parties prenantes pour suspendre sa participation au COPIC. **Il est donc important d'expliquer, avec précision, les éléments qui ont motivé cette modification d'hypothèse :**

Lorsqu'ils ont commencé à déployer leurs réseaux il y a près d'une vingtaine d'années, les opérateurs ont cherché, en priorité, à installer des antennes sur les bâtiments les plus hauts. Comme il s'est avéré impossible de le faire à Grenoble, les opérateurs ont déployé leurs réseaux sur des bâtiments de moindre hauteur. Aujourd'hui, près d'une vingtaine d'années plus tard, il serait contreproductif d'ajouter à Grenoble des antennes sur les bâtiments les plus hauts car ces ajouts provoqueraient des brouillages et dégraderaient la qualité des services mobiles.

- **Les opérateurs sont défavorables à l'utilisation qui est faite aux paragraphes 4.3 et 4.4 de leurs marques commerciales pour la présentation de scénarios et de résultats**, dont ils ne sont en aucune façon responsables et qui n'ont aucune raison d'être reliés nominativement à chacun d'entre eux.
- L'introduction du chapitre 5 présente la 4G comme la possibilité d'accéder à des débits 50 fois supérieurs à ceux de la 3G. **Il est important de compléter cette présentation par le texte ci-après :**

La 4G va apporter les capacités supplémentaires qui sont nécessaires pour faire face à la très forte croissance de l'Internet mobile (chaque année, multiplication par 2 du trafic). Elle va contribuer à l'accès de tous les Français au Très Haut Débit, conformément à la feuille de route du Gouvernement pour le numérique. Elle va favoriser l'innovation et l'aménagement numérique du territoire.



Pour une réglementation des implantations des antennes-relais de téléphonie mobile

5 cour de la Ferme-Saint-Lazare ; 75010 Paris ; tel : 01 42 47 81 54 - fax : 01 42 47 01 65

Site Internet : Priartem.fr ; email : contact@priartem.fr

Expérimentations « réduction des expositions »

Position de Priartem

Quatre ans après la mise en œuvre des expérimentations dites de « réduction des expositions », un premier rapport - incomplet car le travail n'est pas terminé - doit être remis au Gouvernement et plus particulièrement à la Ministre de l'Ecologie.

D'aucuns en ont déjà fait une lecture caricaturale que l'on peut décliner en cinq propositions :

1^{ère} proposition : *le niveau d'exposition de la population aux rayonnements des antennes-relais de téléphonie mobile est faible. Il serait ainsi inutile d'agir.*

2^{ème} proposition : *si on baisse le niveau d'émission des antennes-relais de façon à réduire les expositions à 0,6 V/m, on réduit la qualité de services. Cette réduction de la qualité des services serait inacceptable.*

3^{ème} proposition : *si, dans ce contexte de baisse des niveaux d'émission, on veut récupérer la qualité de service, il faut multiplier le nombre d'antennes-relais par trois. Ce qui serait trop coûteux.*

4^{ème} proposition : *on peut réduire les expositions les plus élevées, mais attention, on peut, en ce faisant en créer de nouveaux. La réduction des expositions les plus fortes ne serait ainsi pas judicieuse.*

5^{ème} proposition : *de toutes façons la 4 G va venir bouleverser tout cela et augmenter le niveau d'exposition moyen de 50% donc il serait urgent de ne rien faire et de ne rien décider.*

Ces interprétations hâtives, et orientées des données quantitatives issues des travaux du COMOP d'abord, du COPIC ensuite, confirment les critiques que Priartem avec Agir pour l'environnement a formulées dès le début de cette opération en 2009.

Ces travaux sont en effet marqués du sceau d'un double défaut originel :

- le contexte d'abord : ces travaux ont été annoncés lors des conclusions du Grenelle des ondes alors que les trois ministres en charge de cette opération concluaient qu'il n'y avait pas lieu de revoir les normes. La messe était donc dite et ce chantier apparaissait bien alors comme une manœuvre dilatoire laquelle a permis qu'aucune décision gouvernementale ne soit prise depuis 2009.
- la méthode ensuite : le choix a été fait d'étudier la faisabilité d'une réduction des niveaux d'exposition à travers une baisse des émissions des antennes-relais existantes et la seule unité-étalon retenue, pour ce faire, a été la qualité de services.

C'est sur ce choix de méthode qu'il faut particulièrement revenir car il conditionne les résultats et surtout leur interprétation. Comme Priartem l'a souvent souligné, il n'y a aucune raison de penser que les opérateurs sur-émettent par rapport à leurs besoins. Donc assez logiquement la réduction des émissions des antennes existantes se traduit par une réduction de la qualité de services dans un certain nombre de lieux. Et c'est bien sur la définition de ces lieux qu'il est intéressant de s'attarder. Le rapport du COPIC montre en effet que, à configuration technique existante, il est possible de réduire les expositions au-dessous de 0,6 V/m, sans dégrader la qualité de services « out-door ». En revanche la qualité de services à l'intérieur des bâtiments serait significativement dégradée. Le conditionnel utilisé volontairement ici est lié d'une part aux difficultés d'évaluation exprimées dans le rapport ainsi qu'à la présentation des résultats en un seul pourcentage sans que l'on puisse déterminer la part et la nature du bâti à laquelle correspond ce pourcentage.

Les opérateurs ont une obligation réglementaire de couverture « out-door ». Ils se sont engagés contractuellement vis-à-vis de l'ARCEP à assurer une couverture « in-door ». Les deux obligations ne sont donc pas de même nature et ne peuvent donc être imposées aux populations riveraines dans les mêmes conditions. **Surtout elles posent clairement un problème de société que l'on ne pourra pas longtemps éviter. De quelles technologies sans fil avons-nous besoin ? A quelle utilité sociale doivent-elles répondre ? Comment doivent être prises en compte les hypothèses de risque pour la santé dans leur développement ?**

Dans le bâti, il existe une alternative simple à l'usage de ces technologies, les liaisons filaires d'autant que l'on dispose en France d'un excellent réseau câblé. Pourquoi donc aurait-on besoin d'avoir partout une excellente réception hertziennne au-delà de deux murs ? Ceci ne signifie pas que l'on ne puisse pas téléphoner avec son portable dans le bâti mais signifie simplement qu'il faut, par exemple, se rapprocher d'une fenêtre, c'est-à-dire « être mobile ».

En disant cela, nous savons que nous allons être taxés de refuser le progrès et d'aller à l'encontre des usages actuels. Les voitures peuvent aller de plus en plus vite, limiter la vitesse pour des raisons de sécurité aussi bien que pour des raisons environnementales, est-ce aller contre le progrès ? Quant à l'exemple du tabac, il a montré qu'il était possible, par la loi et le règlement, de modifier les usages et au moins de protéger la population des effets du tabagisme passif.

La prise en compte de considérations environnementales et sanitaires non seulement n'est pas un frein au progrès mais peut correspondre à un formidable levier d'innovation et de

création de valeurs comme le montre l'important rapport de l'Agence Européenne de l'Environnement⁶. Dans un contexte de crise économique, énergétique, avec des préoccupations de santé qui augmentent et des systèmes de solidarité en voie de déstabilisation, anticiper sur les évolutions à moyen terme constitue un enjeu non seulement sanitaire mais aussi industriel majeur.

Les travaux du COPIC montrent que les expositions aux rayonnements des antennes-relais sont globalement faibles. Seulement 10% des expositions dépasseraient 0,6 V/m. C'est une très bonne nouvelle car cela montre qu'il est possible, si volonté politique il y a, de réduire les valeurs d'exposition maximales à un niveau plus protecteur pour la population à condition de ne pas vouloir toujours plus de téléphonie mobile dans le bâti. C'est bien là l'enjeu essentiel aujourd'hui. Enjeu d'autant plus essentiel que les sources de pollution électromagnétique domestiques se multiplient : Wifi, femtocells, compteurs dit « intelligents »... alors même que les signaux d'alerte sur les risques s'amplifient qu'ils viennent des populations sentinelles que constituent les électrosensibles ou des études qui montrent des effets des radiofréquences sur des fonctions essentielles à de faibles niveaux d'exposition (étude de l'INERIS-Université de Picardie)⁷

Dans ce contexte, on peut faire une lecture très différente des données issues des expérimentations :

- la modélisation des expositions liées aux antennes-relais de téléphonie mobile est possible. L'outil créé par le CSTB s'avère fiable dès lors que les données sur le bâti le sont aussi. On peut donc disposer d'outils généralisables permettant des approches dynamiques sur lesquelles appuyer des choix stratégiques. Mais ceci suppose que les données nécessaires soient rendues disponibles c'est-à-dire que les opérateurs soient dans l'obligation de les communiquer. Ceci suppose également de réintroduire du politique et de la concertation dans le développement du réseau (enjeu d'aménagement du territoire).
- Les expositions supérieures à 0,6 V/m sont aujourd'hui très minoritaires et peuvent donc être corrigées.
- On connaît maintenant l'effet du développement qu'aurait la 4G sur le niveau d'exposition de la population - + 50% en moyenne. Il n'est pas acceptable qu'une telle augmentation de l'exposition s'opère sans qu'il y ait eu la moindre évaluation de l'impact sanitaire sur la population (les expérimentations 4G n'ont pas donné lieu à suivi sanitaire) et que rien ne soit aujourd'hui prévu pour détecter un impact à court ou plus long terme suite à ce déploiement. Par ailleurs, le déploiement de la 4G paraît incompatible avec la notion de sobriété puisqu'il s'agit de couvrir des besoins qui aujourd'hui n'existent pas en provoquant une augmentation de 50% de l'exposition et sans qu'un débat de société ait eu lieu.

Pour terminer, il convient de revenir sur la question des **points atypiques**. En 2009, lorsque l'ANSES a préconisé que soient traités les points atypiques ceux-ci ont été définis comme ceux

⁶ *Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation*, AEE, 2013

⁷ Pelletier et al., « Effects of chronic exposure to radiofrequency electromagnetic fields on energy balance in developing rats », *Environ Sci Pollut Res Int*, 2012

qui étaient supérieurs à la moyenne. L'ANFR a calculé cette moyenne et l'a évaluée à moins de 1 V/m. La loi dite « Grenelle 2 » a repris ce concept de points atypiques en demandant à l'ANFR d'en faire un recensement et le législateur a défini ces points comme ceux qui sont « sensiblement supérieurs à la normale ». L'ANFR vient de sortir de son chapeau sa propre définition : les points supérieurs à 6 V/m ! Ce qui correspond à une définition originale de l'expression « sensiblement supérieur »

Il s'agit d'une valeur qui revient décidément souvent dans les positions de l'ANFR. Ne l'a-t-elle pas proposée comme celle qui doit déclencher le protocole lourd de mesures avec analyseur de spectre et extrapolation, les autres mesures se faisant simplement en temps réel et avec sonde à large bande. Il se trouve que cette valeur est justement celle qui a été proposée par les opérateurs au début des années 2000 lorsqu'ils ont décidé de contester le protocole à 0,6 V/m qu'ils avaient signé avec la ville de Salzbourg. 6 V/m c'est ce que les opérateurs seraient donc prêts à accepter. Rien d'étonnant à cela car cette valeur leur permet de continuer à déployer comme ils le veulent. Sur les mesures réalisées durant les trois dernières années - soit près de 3000 mesures - seules 68 sont supérieures à 6 V/m. Pour la plupart des riverains donc, fixer un seuil de 6 V/m ne va rien changer. On demande souvent aux associations de justifier scientifiquement le 0,6 V/m. Il convient de noter que le 6 V/m n'a aucun fondement scientifique et bien sûr n'a aucune vocation à protéger la population.

Par ailleurs, « le traitement des points atypiques » suppose non seulement de définir ce qu'est un point atypique mais aussi d'être capable de le résoudre. Les expérimentations réalisées dans le cadre du COPIC sont loin d'être rassurantes puisque dans la plupart des cas les « traitements » effectués ont effectivement réduit l'exposition sur le point atypique initial mais en ont généré de nouveaux puisque seul le maintien de la qualité de service a été retenu comme curseur.

Ceci signifie bien que raisonner à configuration constante présente de fortes limites et ne répond en aucun cas à notre revendication de protection de la santé publique.

Plus que jamais nous demandons l'application du principe ALARA dans toutes ses dimensions avec fixation d'une valeur cible réellement protectrice.



L'association nationale Robin des Toits est à l'origine de la mise en place du COMOP qui est devenu par la suite le COPIC. Nous en avons été partie prenante pendant trois ans, et avons été tout au long membre du Groupe Technique.

Suite à nos dernières communications, nous signalons à nouveau que le cahier des charges mis en place pour l'expérimentation de la baisse de puissance n'est pas respecté et que les résultats s'en trouvent biaisés, sur Grenoble notamment.

L'objectif poursuivi est de discréditer la valeur cible de 0,6 V/m pourtant recommandée par le Conseil de l'Europe.

Nous serons amenés à utiliser nos ressources médiatiques et à alerter nos contacts politiques sur ce regrettable détournement d'un travail scientifique.

Robin des Toits reconnaît les résultats concernant Paris XIVE mais ne saurait en aucun cas cautionner les "résultats" obtenus après novembre 2012.

Nous déplorons cet état de fait et avons donc été amenés à suspendre notre participation à vos travaux.

Ce serait ajouter à la malhonnêteté de ne pas le consigner.