

ETUDE DE L'EXPOSITION DU PUBLIC AUX ONDES RADIOELECTRIQUES

**Analyse des résultats de mesures d'exposition
du public aux ondes radiofréquences réalisées
entre 2014 et 2023 dans le cadre du dispositif
national de surveillance.**

Février 2025

SYNTHESE GENERALE	3
EXECUTIVE SUMMARY	5
1. INTRODUCTION	7
2. 2014-2023, DIX ANS DU DISPOSITIF NATIONAL DE MESURES	10
2.1 <i>Typologie des demandes de mesure</i>	10
2.2 <i>Evolution du niveau global de l'exposition</i>	12
2.3 <i>Evolution du niveau de l'exposition détaillé en fréquence</i>	17
2.4 <i>Comparaison des dix plus grandes villes de France</i>	17
3. BILAN DETAILLE DES MESURES DE L'ANNEE 2023	23
3.1 <i>Typologie des demandes de l'année 2023</i>	23
3.2 <i>Analyse globale des résultats de l'année 2023</i>	24
3.3 <i>Analyse détaillée des résultats de l'année 2023</i>	27
ANNEXE 1 : LE PROTOCOLE DE MESURE	30
ANNEXE 2 : LE DISPOSITIF NATIONAL DE SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DU PUBLIC AUX ONDES RADIOELECTRIQUES	32
ANNEXE 3 : LA BOITE A MOUSTACHES OU BOITE DE TUKEY	33

Synthèse générale

Ce rapport porte sur les mesures réalisées entre 2014 et 2023 dans le cadre du dispositif national de surveillance de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques dans la bande 100 kHz – 6 GHz. Ouvert aux particuliers et aux collectivités locales depuis 10 ans, ce dispositif permet de faire mesurer gratuitement l'exposition aux ondes électromagnétiques dans des locaux d'habitation ou des lieux accessibles au public.

Durant ces dix dernières années, le dispositif national a permis d'effectuer plus de 30 000 mesures en France en dehors des campagnes de mesure spécifiques de l'ANFR ou des ministères. En 2023, 2 386 lieux ont fait l'objet de mesures en dehors des campagnes de mesures lancées par l'Etat ou certaines villes en concertation avec l'ANFR, qui font l'objet d'analyses séparées. L'année 2021 avait été marquée par le déploiement de la 5G en France avec un nombre record de mesures depuis la mise en place du dispositif en 2014. L'année 2023 compte 2 386 mesures, nombre le plus faible depuis 2014.

La typologie des mesures apparaît assez stable depuis 2014. En 2023 comme pour les années précédentes, les mesures en extérieur restent majoritaires par rapport aux mesures en intérieur. Concernant la répartition géographique des demandes, elle demeure principalement corrélée à la densité de la population.

Les niveaux mesurés se révèlent tous nettement inférieurs aux valeurs limites réglementaires qui varient entre 28 V/m et 87 V/m selon les fréquences. La conformité du niveau d'exposition au champ électromagnétique dans la bande 100 kHz – 6 GHz vis-à-vis du décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 a été déclarée sur tous les sites ayant fait l'objet d'une mesure.

En dix années, la moyenne du niveau global de l'exposition observée est passé de 0,68 V/m à 1,1 V/m, alors que le niveau global médian est resté globalement stable en passant de 0,38 V/m à 0,42 V/m. En 2023, une grande majorité (71,8 %) de ces niveaux d'exposition sont inférieurs à 1 V/m. Plus de 3,5 % des niveaux globaux mesurés dépassent la valeur d'attention de 6 V/m à partir de laquelle une mesure détaillée en fréquence est obligatoire. Les points atypiques, qui sont ceux dépassant un niveau global d'exposition de 6 V/m font l'objet d'un rapport spécifique. Leur nombre a augmenté par rapport aux années précédentes. Les niveaux des champs mesurés sont plus élevés en milieu urbain qu'en milieu rural et en extérieur qu'en intérieur.

L'analyse détaillée, possible quand la mesure s'effectue selon le « cas B » du protocole, révèle que la téléphonie mobile constitue le principal contributeur dans 58 % des cas. En milieu rural, cette tendance apparaît moins marquée, avec seulement 31 % des cas où la téléphonie mobile domine tandis que, dans 36 % des cas, aucune source significative n'est mesurée. En extérieur, la téléphonie mobile domine dans près de 74 % des cas.

Le tableau ci-dessous synthétise l'analyse des résultats pour 2023. Le tableau se lit ainsi : en milieu rural (ligne) 99 % des niveaux d'exposition mesurés en 2023 (colonne) sont inférieurs à 2,7 V/m (valeur figurant dans la case à l'intersection entre la ligne et la colonne).

	Nombre de mesures	Moyenne	50 % (médiane)	99 %	Max
<i>Rural</i>	580 (24%)	0,44 V/m	0,26 ¹ V/m	2,7 V/m	6,7 V/m
<i>Urbain</i>	1806 (76%)	1,3 V/m	0,56 V/m	9,1 V/m	25,1 V/m
<i>Intérieur</i>	1373 (58%)	0,89 V/m	0,34 ¹ V/m	8,2 V/m	25,1 V/m
<i>Extérieur</i>	1013 (42%)	1,3 V/m	0,68 V/m	9,2 V/m	14,2 V/m
<i>Total</i>	2386	1,1 V/m	0,42 V/m	8,6 V/m	25,1 V/m

¹ Ces valeurs sont inférieures au seuil de sensibilité typique des sondes utilisées pour l'analyse globale de l'exposition qui est de 0,38 V/m. Les appareils de mesures employés permettent néanmoins de recueillir des valeurs exploitables jusqu'à 0,05 V/m.

Executive summary

This report covers measurements carried out between 2014 in 2023 as part of the French national scheme for monitoring exposure of the general public to electromagnetic waves in the 100 kHz - 6 GHz band. Open to private individuals and local authorities, the system allows the assessment of exposure to electromagnetic waves, free of charge, in residential premises and in areas accessible to the public.

During the past ten years, this national process enabled more than 30,000 measurement all over France excluding ANFR or government specific measurements campaigns. In 2023, 2,386 locations were measured in the 100 kHz - 6 GHz band in 2023, outside measurements campaigns launched by state or some cities in collaboration with ANFR. The year 2021, marked by the deployment of 5G in France, reached a record-breaking number of measurements since the implementation of the system in 2014. 2023 is a year with the lowest number of measurements since 2014, 2,386.

The typology of measurements has been quite stable since 2014. As in 2023, outdoor measurements were also more numerous than in other years. Regarding the geographical distribution of demands, it remains correlated mainly with the density of the population.

The compliance of the level of exposure to electromagnetic fields in the 100 kHz - 6 GHz band with the decree 2002-775 of May 3rd, 2002, was declared on all the sites which were tested. The measured levels of exposure are well below the regulatory limits, which are set between 28 V/m and 87 V/m, depending on the frequency.

For ten years, the average level of exposure has risen from 0.68 V/m and 1.1 V/m but median field level has stagnated from 0.38 V/m to 0.42 V/m. In 2023, a large majority (71.8%) of these exposure levels remain below 1 V/m. Almost 3.5% of the global exposure levels measured exceed the attention value of 6 V/m from which detailed frequency measurement becomes mandatory. The number of "atypical" points (ie. exceeding a global exposure level of 6 V/m) is up compared to previous years. The measured field levels are higher in urban than in rural areas and higher outdoor than indoor.

The detailed analysis, enabled for measurements carried out according to the "case B" of the protocol, reveals that mobile telephony is the main contributor in 58% of the cases.

In rural areas, this trend appears less pronounced with only 31% of cases where mobile telephony dominates and in almost 36% of cases, no significant source is measured. Mobile telephony dominates in almost 74% of cases outdoors.

The table below summarizes the analysis of the results obtained in 2023. The table reads as follows: in rural areas (row) 99% of the exposure levels measured in 2023 (column) are lower than 2.7 V/m.

	Number of measurements	Mean	50 % (median)	99 %	Max
<i>Rural</i>	580 (24%)	0,44 V/m	0,26 ² V/m	2,7 V/m	6,7 V/m
<i>Urban</i>	1806 (76%)	1,3 V/m	0,56 V/m	9,1 V/m	25,1 V/m
<i>Indoor</i>	1373 (58%)	0,89 V/m	0,34 ² V/m	8,2 V/m	25,1 V/m
<i>Outdoor</i>	1013 (42%)	1,3 V/m	0,68 V/m	9,2 V/m	14,2 V/m
<i>Total</i>	2386	1,1 V/m	0,42 V/m	8,6 V/m	25,1 V/m

² These values are below the typical sensitivity threshold of the broadband instruments of 0.38 V/m.

1. Introduction

Le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 fixe les valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques. Il transpose la recommandation européenne 1999/519/CE du Conseil du 12 juillet 1999. Ces valeurs limites sont comprises entre 28 V/m et 87 V/m selon les fréquences (cf. Figure 1).

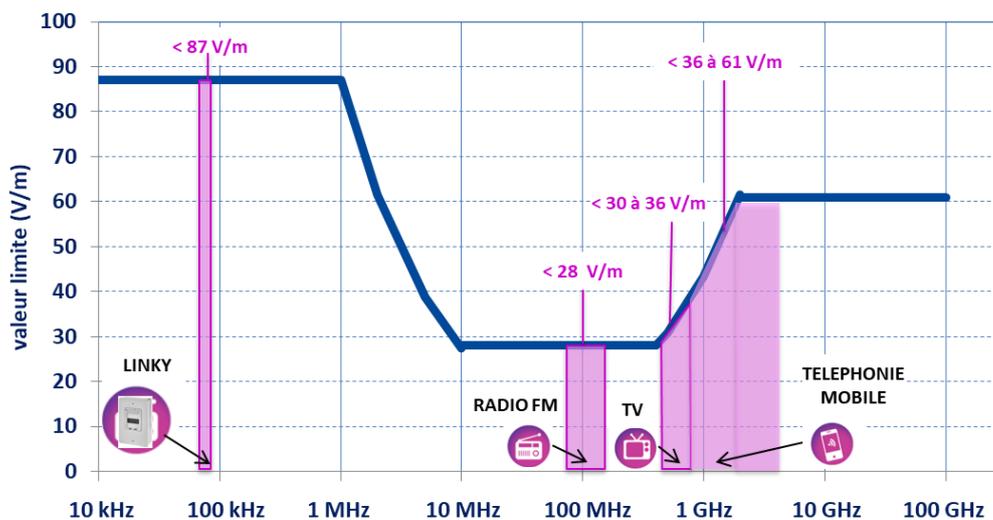


Figure 1 valeurs limites réglementaires fixées en France par le décret du 3 mai 2002 n°2002-775

Dans le cadre de ses missions, l'Agence nationale des fréquences (ANFR) veille au respect de ces valeurs limites. Pour cela, elle élabore un protocole de mesure de l'exposition et l'actualise en fonction des évolutions technologiques. En 2023, la version 4 (décrite en Annexe 1) était en vigueur. Ce protocole vise principalement à évaluer le niveau d'exposition créé par les équipements fixes utilisés dans les réseaux de télécommunications : il est donc recommandé, pendant les mesures, d'éteindre les équipements dont les émissions sont non permanentes (téléphone portable, par exemple). Cependant, si certains de ces équipements fixes activables par le demandeur sont maintenus en marche à sa demande, la mesure reste possible : des dispositions sont prises pour que ces équipements émettent pendant les mesures et le rapport de mesure mentionne cette situation.

La vérification de la conformité des niveaux d'exposition vis-à-vis de ces valeurs limites réglementaires est confiée à des laboratoires de mesure accrédités par le Comité français d'accréditation (COFRAC) qui doivent respecter le protocole de mesure de l'ANFR ainsi que des critères d'indépendance.

L'ANFR reçoit l'ensemble des rapports de mesure réalisés selon ce protocole et les publie sur le site cartoradio.fr.

Le dispositif national de surveillance de l'exposition aux ondes électromagnétiques géré par l'ANFR et effectif depuis le 1er janvier 2014 est détaillé en annexe 2 de ce rapport. Ce dispositif permet à toute personne physique ou morale de demander à faire mesurer l'exposition aux ondes électromagnétiques aussi bien dans des locaux d'habitation que dans des lieux accessibles au public (parcs, commerces...). Cette démarche est gratuite. Les analyses des mesures réalisées dans le cadre de ce dispositif font l'objet chaque année d'un rapport publié sur le site internet de l'ANFR³.

Ce rapport porte sur plus de 30 000 mesures effectuées pendant dix ans, entre le 1^{er} janvier 2014 et le 31 décembre 2023 et plus spécifiquement 2 386 mesures réalisées dans la bande 100 kHz – 6 GHz en 2023 dans le cadre du dispositif géré par l'ANFR, en dehors des campagnes de l'Etat.

Durant ces dix années, l'utilisation du spectre des fréquences a évolué : de nouvelles technologies ont été autorisées dans certaines bandes. Il y a eu notamment l'autorisation et la mise en service de sites de la 4G dans plusieurs nouvelles bandes : 700 MHz à partir de 2018, 2100 MHz à partir de 2017 ainsi que de la bande 1800 MHz à partir de 2013 mais avec un accroissement significatif des mises en service à partir de 2016. Par ailleurs, dès fin 2020, la 5G a commencé à être déployée dans les bandes 700 MHz, 2100 MHz et 3500 MHz. Les Figure 2 et Figure 3 illustrent la progression du nombre de sites 4G et 5G respectivement mis en service et techniquement opérationnels. Ces deux graphiques sont issus de l'observatoire des réseaux mobiles de l'ANFR qui rend compte du déploiement des antennes relais 2G, 3G, 4G et 5G chaque mois depuis 2012⁴.

Depuis juin 2018, le dispositif s'est étendu à de nouvelles sources potentielles d'exposition liées aux objets communicants fixes, comme les compteurs Linky par exemple. Les résultats des mesures de l'exposition concernant les objets communicants fixes ont fait l'objet d'une analyse séparée⁵.

Dans la seconde partie du rapport, l'analyse s'est focalisée sur les résultats des mesures de l'année 2023 du seul dispositif national⁶.

³ <https://www.anfr.fr/maitriser/les-installations-radioelectriques/etudes-sur-les-installations-radioelectriques/rapports-annuels-des-mesures>

⁴ <https://www.anfr.fr/gestion-des-frequences-sites/observatoire/>

⁵ <https://www.anfr.fr/controle-des-frequences/exposition-du-public-aux-ondes/compteurs-communicants/mesures-linky/>

⁶ En 2023, d'autres mesures ont été réalisées selon le protocole de mesures de l'ANFR dans le contexte de la campagne nationale de l'Etat pour accompagner le déploiement de la 5G ou de campagnes spécifiques à certaines villes. Elles font l'objet d'analyses séparées. Retrouvez tous les rapports d'études de l'ANFR à l'adresse : <https://www.anfr.fr/rapports-etudes>.

SITES 4G MIS EN SERVICE EN METROPOLE PAR BANDE DE FREQUENCE

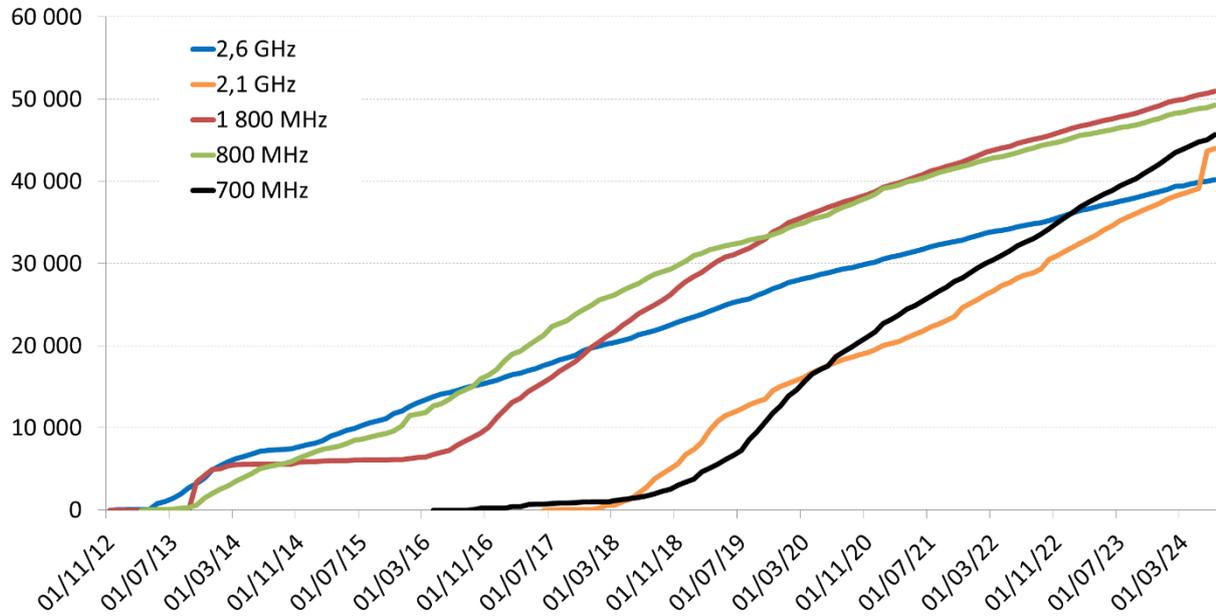


Figure 2 Nombre de sites 4G mis en service depuis le lancement de l'observatoire des réseaux mobiles selon les déclarations des opérateurs à l'ANFR.

SITES 5G TECHNIQUEMENT OPERATIONNELS EN METROPOLE PAR BANDE DE FREQUENCE

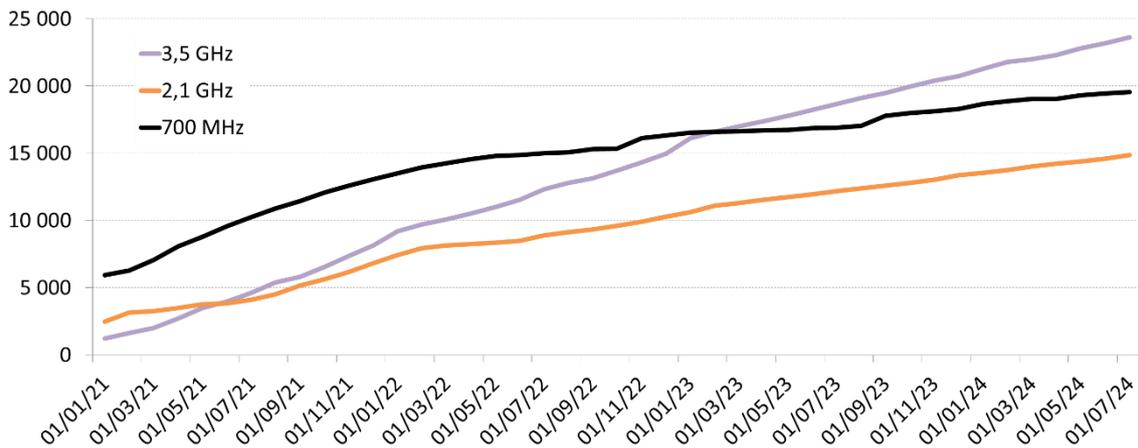


Figure 3 Nombre de sites 5G techniquement opérationnels selon les déclarations des opérateurs à l'ANFR

2. 2014-2023, dix ans du dispositif national de mesures

2.1 Typologie des demandes de mesure

2 386 lieux ont fait l'objet de mesures dans la bande 100 kHz - 6 GHz en 2023 dans le cadre du dispositif ouvert aux particuliers déjà décrit. L'année 2021 avait été marquée par le déploiement de la 5G en France avec un nombre record de mesures depuis la mise en place du dispositif en 2014 (cf. Figure 4). L'année 2023 avec 2 386 mesures enregistre le nombre le plus faible depuis le début du dispositif national de mesure.

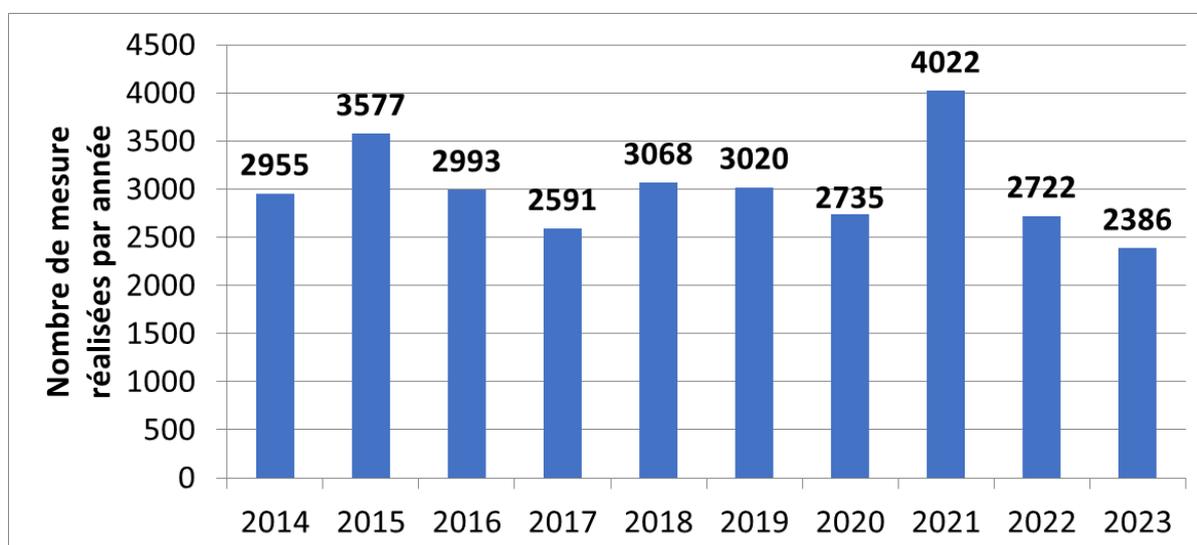


Figure 4 Nombre de mesures réalisées par an dans le cadre du dispositif national en dehors des campagnes de mesure de l'Etat

En 2023, comme lors des années précédentes, c'est l'ensemble du territoire a été concerné par ces mesures, comme illustré sur la Figure 5.

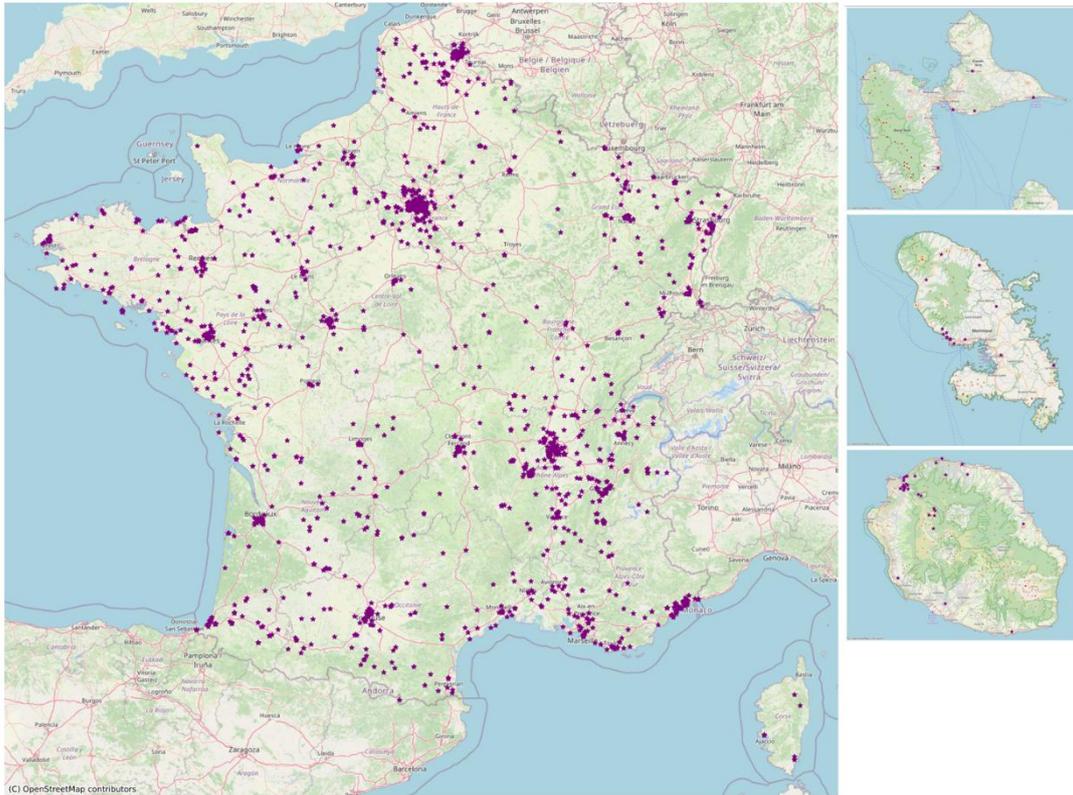


Figure 5 répartition géographique des mesures réalisées en 2023

La Figure 7 illustre la typologie des mesures réalisées en 2023 et les années précédentes. Les années avant 2018 ont été regroupées. Les mesures sont notamment caractérisées par :

- le type de mesure : cas A ou cas B du protocole de mesure ;
- l'environnement : urbain ou rural ;
- la nature du lieu : intérieur ou extérieur ;
- le type du lieu : lieu d'habitation, espace public, rue ou autres (commerces, divers).

En juin 2018, le dispositif de surveillance de l'exposition avait évolué pour prendre en compte de nouvelles sources potentielles d'exposition liées aux objets communicants fixes. Cette évolution avait conduit à la disparition du cas A+ dans le formulaire de demande de mesures. Ce type de demande s'est depuis reporté sur le cas B, plus détaillé. En 2023, les mesures selon le cas B du protocole représentent toujours une large majorité des mesures (75 %).

La majorité des mesures (76 %) restent réalisées en milieu urbain. Le milieu rural représente donc près d'un quart des mesures, comme les années précédentes depuis 2020.

La majorité des mesures (58 %) ont été réalisées en intérieur mais les mesures en extérieur (42 %) restent nombreuses comme depuis 2021. Enfin, 69 % d'entre elles ont concerné les lieux d'habitation et 12 % des espaces publics. C'est la première année où la proportion de mesures effectuées dans des lieux d'habitations dépassent les deux tiers de l'ensemble des mesures du dispositif national de mesures considérées dans ces analyses.

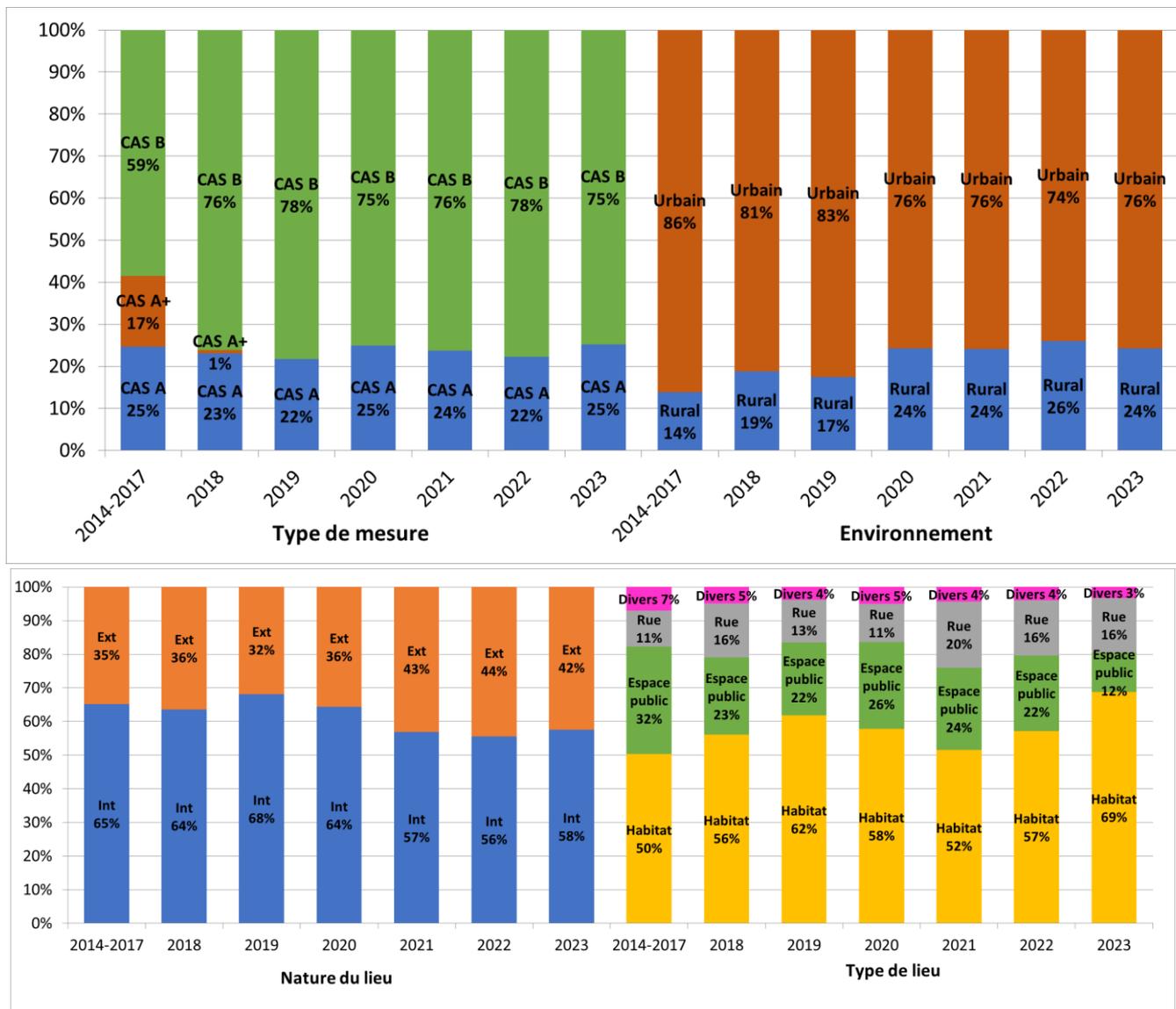


Figure 6 Typologie des mesures réalisées chaque année depuis 2014 dans le cadre du dispositif de surveillance de l'exposition géré par l'ANFR (en dehors des campagnes nationales de l'Etat, menées par exemple sur les places de mairies ou pour le suivi du déploiement de la 5G). Les années avant 2018 ont été regroupées.

2.2 Evolution du niveau global de l'exposition

La répartition des résultats de mesures selon les niveaux de champs électriques mesurés est indiquée dans le Tableau 1 par année depuis 2014. La répartition des niveaux d'exposition mesurés en 2023 est globalement similaire à celle des niveaux mesurés les années précédentes avec un nombre de cas dépassant le niveau global de 6 V/m qui augmente.

Année	E (V/m)	≥ 1 V/m	≥ 2 V/m	≥ 3 V/m	≥ 4 V/m	≥ 5 V/m	≥ 6 V/m
2014	Occurrence (%)	18,3 %	5,5 %	2,8 %	1,7 %	1 %	0,6 %
2015	Occurrence (%)	18,4 %	5,2 %	2,1 %	1,2 %	0,7 %	0,4 %
2016	Occurrence (%)	18,4 %	5,3 %	2,3 %	1,5 %	1,1 %	0,7 %
2017	Occurrence (%)	19,7 %	7 %	3,1 %	1,8 %	1 %	0,5 %
2018	Occurrence (%)	22,7 %	9 %	5,1 %	3 %	1,7 %	1 %
2019	Occurrence (%)	22,4 %	8,8 %	4,4 %	2,8 %	1,7 %	1 %
2020	Occurrence (%)	23,3 %	9,4 %	4,7 %	3 %	2,3 %	1,7 %
2021	Occurrence (%)	24%	9%	4,8%	3,1%	2%	1,4%
2022	Occurrence (%)	27%	12%	7,8%	5,2%	3,8%	2,8%
2023	Occurrence (%)	28,2%	13,2%	8,3%	5,4%	4,3%	3,6%

Tableau 1 répartition des résultats de mesures selon les niveaux des champs électriques mesurés

La tendance légèrement à la hausse qui s'était dessinée en 2018 par rapport aux années précédentes (cf. Figure 7) se confirme. Ainsi, par exemple, le nombre de cas supérieurs à 1 V/m apparaît en hausse.

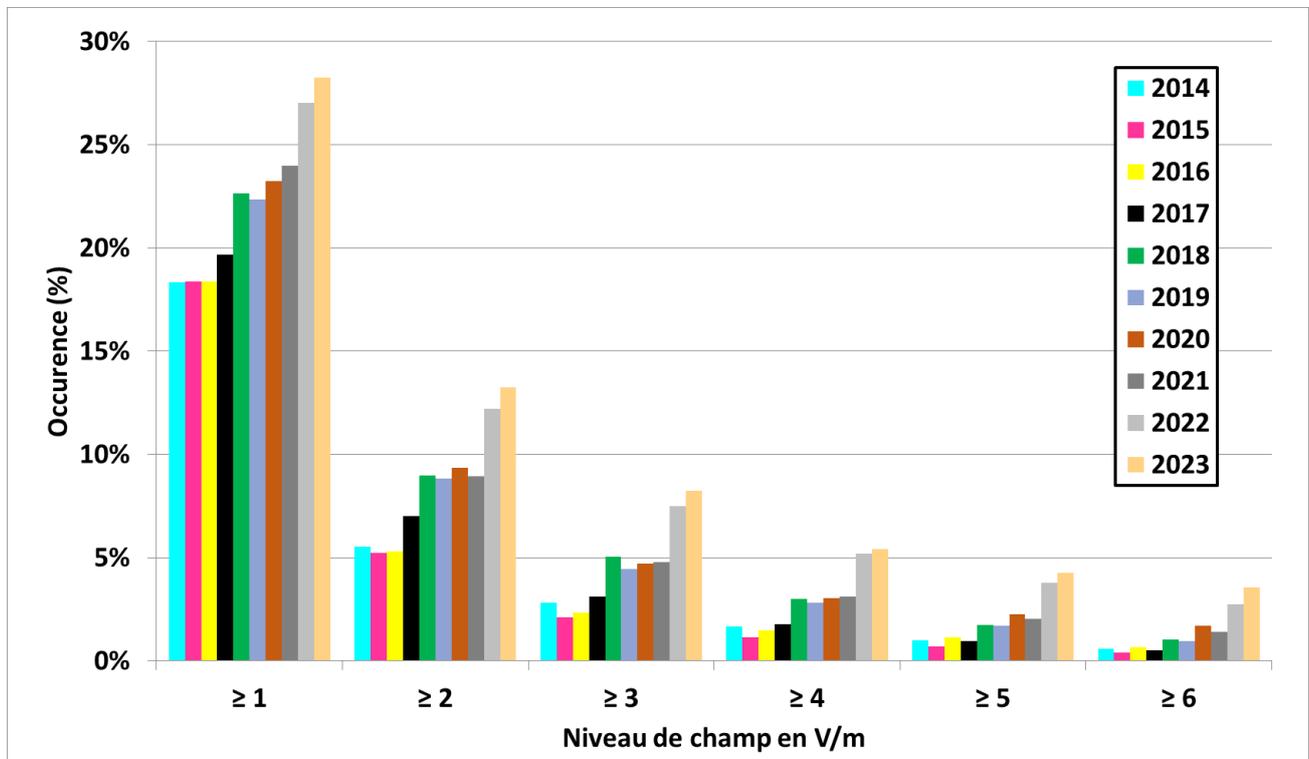


Figure 7 répartition des niveaux de champs électriques mesurés selon le cas A du protocole de mesure selon les années

La Figure 8 qui représente l'évolution de la distribution annuelle du niveau global de l'exposition par année sous forme de boîte à moustaches⁷. Le graphique montre que la valeur médiane reste toujours stable et vaut 0,42 V/m. L'augmentation ne concerne donc pas tous les lieux de mesures mais les niveaux les plus élevés, qui ont tendance à augmenter. La moyenne évolue à la hausse du fait de l'augmentation de ces valeurs les plus élevées. La valeur moyenne en 2023 est de 1,1 V/m. Elle a augmenté de 0,10 V/m par rapport à l'année précédente. 1 % des valeurs les plus élevées dépassent 8,6 V/m en 2022 alors qu'elles ne dépassaient pas 6 V/m avant 2020. Les points dépassant 6 V/m, dits « points atypiques » font l'objet d'une analyse détaillée spécifique⁸.

⁷ L'annexe 3 du présent rapport introduit le formalisme de la représentation en boîte à moustaches, le triangle vert représente la moyenne

⁸ <https://www.anfr.fr/controle-des-frequences/exposition-du-public-aux-ondes/la-mesure-de-champ/recensement-des-points-atypiques/>

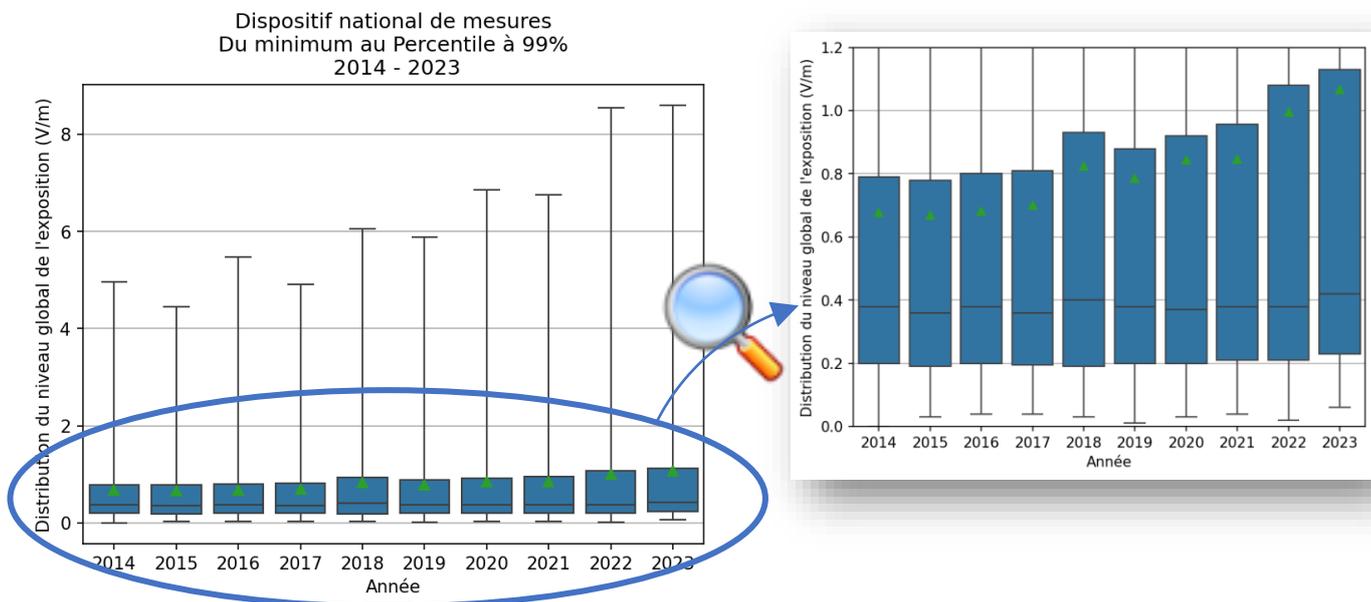


Figure 8 Evolution du niveau global de l'exposition sous forme de boîtes à moustaches

Le Tableau 2 récapitule les principales caractéristiques des distributions de niveaux de champ électrique mesurés à la sonde large bande (cas A du protocole) en France depuis 2014 dans le cadre du dispositif de surveillance de l'exposition géré par l'ANFR en dehors des campagnes nationales menées par l'Etat.

Cette analyse globale montre donc que, comme pour les années précédentes, les niveaux d'exposition du public aux ondes électromagnétiques restent globalement nettement inférieurs aux valeurs limites réglementaires en vigueur. Dans ce tableau, les résultats les plus anciens (entre 2014 et 2018) ont été moyennés.

	Nombre de mesures										Moyenne					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2014 2018	2019	2020	2021	2022	2023
<i>Rural</i>	472 16%	421 12 %	364 12%	425 16 %	578 19%	526 17%	664 24%	971 24%	709 26%	580 24%	0,47	0,4	0,4	0,46	0,43	0,44
<i>Urbain</i>	2483 84%	3154 88 %	2629 88%	2166 84 %	2490 81%	2494 83%	2071 76%	3051 76%	2013 74%	1806 76%	0,77	0,87	0,99	0,97	1,2	1,3
<i>Intérieur</i>	1797 61%	2387 67 %	2046 67%	1666 64%	1952 64%	2059 68%	1760 64%	2286 57%	1512 56%	1373 58%	0,64	0,98	0,8	0,71	0,85	0,89
<i>Extérieur</i>	1158 39%	1190 33 %	947 33%	914 36%	1116 36%	961 32%	975 36%	1736 43%	1210 44%	1013 42%	0,89	1	0,92	1	1,2	1,3
<i>Total</i>	2955	3577	2993	2591	3068	3020	2735	4022	2722	2386	0,71	0,78	0,85	0,85	1	1,1

	Médiane						99 %						Max					
	2014 2018	2019	2020	2021	2022	2023	2014 2018	2019	2020	2021	2022	2023	2014 2018	2019	2020	2021	2022	2023
<i>Rural</i>	0,24 ⁹	0,22 ⁴	0,21 ⁴	0,23 ⁴	0,22 ⁴	0,26 ⁴	2,9	3,1	2,9	4	4,1	2,7	10,5	4,7	8,4	26,6	8,8	6,71
<i>Urbain</i>	0,42	0,45	0,49	0,49	0,55	0,56	5,4	6,1	7,8	6,9	9,1	9,1	20,4	28,6	40,9	27	15,3	25,1
<i>Int</i>	0,32 ⁴	0,38	0,33 ⁴	0,32 ⁴	0,34 ⁴	0,34 ⁴	4,6	5,2	7,5	6,1	7,5	8,2	12,7	28,6	40,9	10,2	15,3	25,1
<i>Ext</i>	0,56	0,56	0,51	0,57	0,49	0,68	5,8	6,2	6,6	8,2	9,4	9,2	18,7	14,4	15,5	27	13,4	14,2
<i>Total</i>	0,38	0,38	0,37	0,38	0,38	0,42	5,2	5,9	7	6,8	8,6	8,6	20,4	28,6	40,9	27	15,3	25,1

Tableau 2 quantiles¹⁰ et moyennes des niveaux d'exposition mesurés en France depuis 2014 en V/m

⁹ Ces valeurs sont en-dessous du seuil de sensibilité typique des sondes utilisées pour l'analyse globale de l'exposition qui est de 0,38 V/m. Les appareils de mesures employés permettent néanmoins de recueillir des valeurs statistiquement exploitables jusqu'à 0,05 V/m.

¹⁰ Le tableau se lit ainsi : 99% des niveaux d'exposition mesurés en milieu rural en 2023 sont inférieurs à 2,7 V/m.

2.3 Evolution du niveau de l'exposition détaillé en fréquence

Parmi les différentes bandes de fréquences de la téléphonie mobile, la bande 900 MHz reste la plus représentée avec une occurrence de 58 % (cf. Figure 9). Les autres bandes 700 MHz, 800 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz et 2600 MHz sont également souvent présentes avec entre 50 et 57 % d'occurrence. Le déploiement de la bande 700 MHz, très dynamique à partir de 2017, semble terminé avec 50 % d'occurrence environ en 2022 et 2023. Le déploiement de la 5G dans la bande 3600 MHz démarré en fin d'année 2020 continue de fortement progresser et atteint une occurrence de détection de 41 % en 2023.

Les bandes de fréquence utilisées depuis de nombreuses années (800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz) avaient été détectées bien plus fréquemment en 2021 (entre 70 % et 90 %) que depuis 2017 (entre 40 % et 70 %). Cette augmentation sensible de l'occurrence de la téléphonie mobile dans l'exposition mesurée pourrait être expliquée par le déploiement de la 5G qui a suscité un grand nombre de demandes de mesures en 2021. Depuis 2022, l'occurrence de détection de ces bandes est revenue à un niveau comparable aux années 2018-2020.

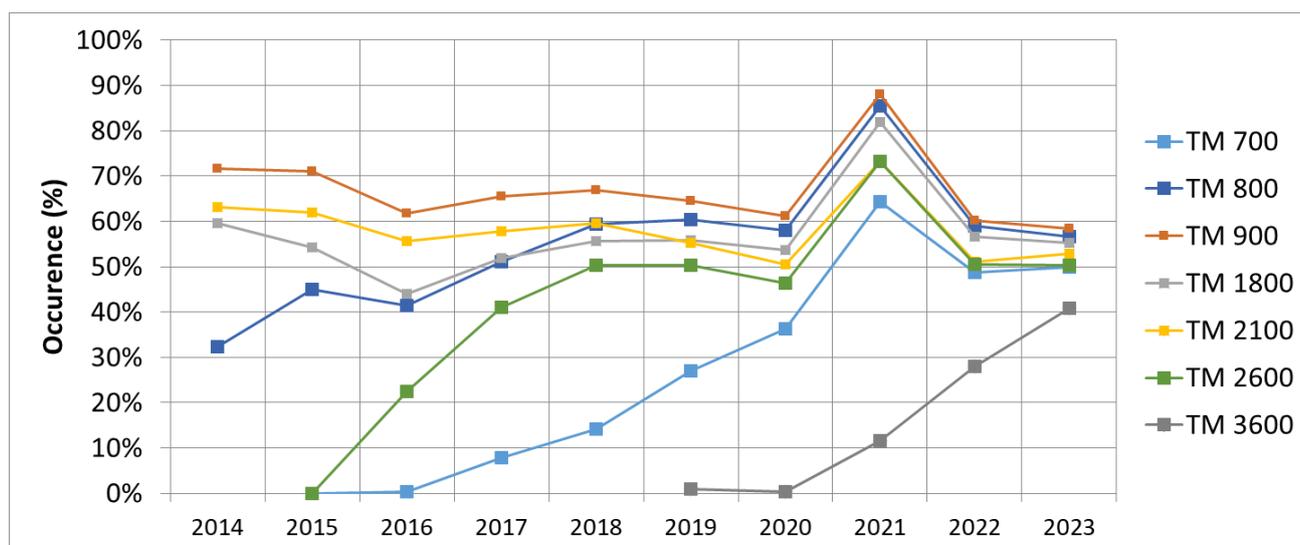


Figure 9 Détection des différentes bandes de téléphonie mobile (TM) lors des mesures selon le cas B

2.4 Comparaison des dix plus grandes villes de France

Les données cumulées permettent de mettre en perspective l'évolution de l'exposition durant ces dix dernières années. La variabilité territoriale en milieu urbain peut ainsi être explorée en comparant le niveau d'exposition dans les dix plus grandes villes de France¹¹.

La Figure 10 présente le nombre de mesures effectuées chaque année dans les dix plus grandes villes de France. Le graphique montre que la ville de Paris effectue beaucoup plus de mesures que les autres villes. Le Tableau 3 présente le nombre total de mesures effectuées dans les dix plus grandes villes de France. À titre indicatif, le nombre de mesures pour 1 000 habitants est présenté.

¹¹ Selon l'INSEE

On constate que Paris et Lille effectuent environ 2 mesures pour 1 000 habitants tandis que les autres villes se trouvent entre 0,3 et 1,3 mesure pour 1 000 habitants. Le comptage se compose uniquement des mesures du dispositif national de mesures en excluant les campagnes de mesures de l'ANFR, des ministères ou des villes elles-mêmes. Pour certaines villes, le nombre de mesures est faible et n'est pas forcément représentatif de la variété de l'exposition dans ces villes. Cependant, les enseignements tirés de cette analyse restent intéressants.

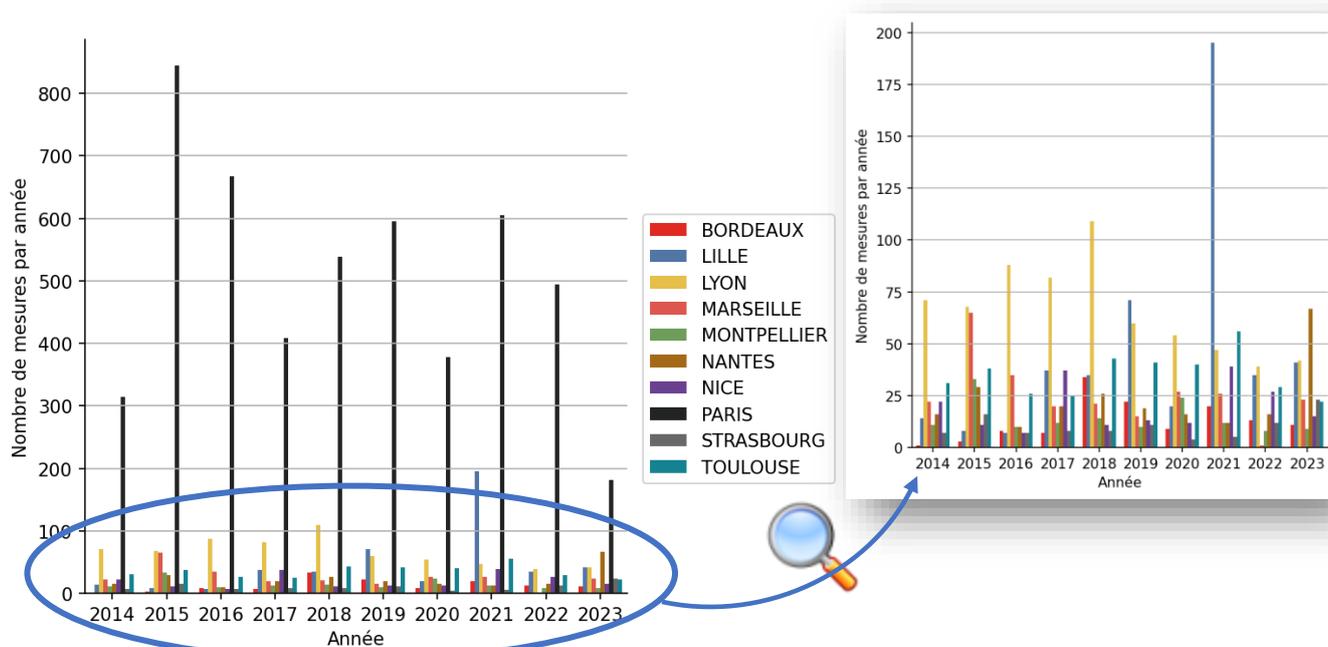


Figure 10 Nombre de mesures effectuées par année dans les dix plus grandes villes françaises

Ville	Nombre total de mesures	Nombre de mesures/1000 habitants
BORDEAUX	128	0,5
LILLE	463	2,0
LYON	660	1,3
MARSEILLE	255	0,3
MONTPELLIER	143	0,5
NANTES	231	0,8
NICE	194	0,6
PARIS	5028	2,2
STRASBOURG	101	0,4
TOULOUSE	351	0,8

Tableau 3 Nombre total de mesures effectuées dans les dix plus grandes villes de France sur les 10 dernières années

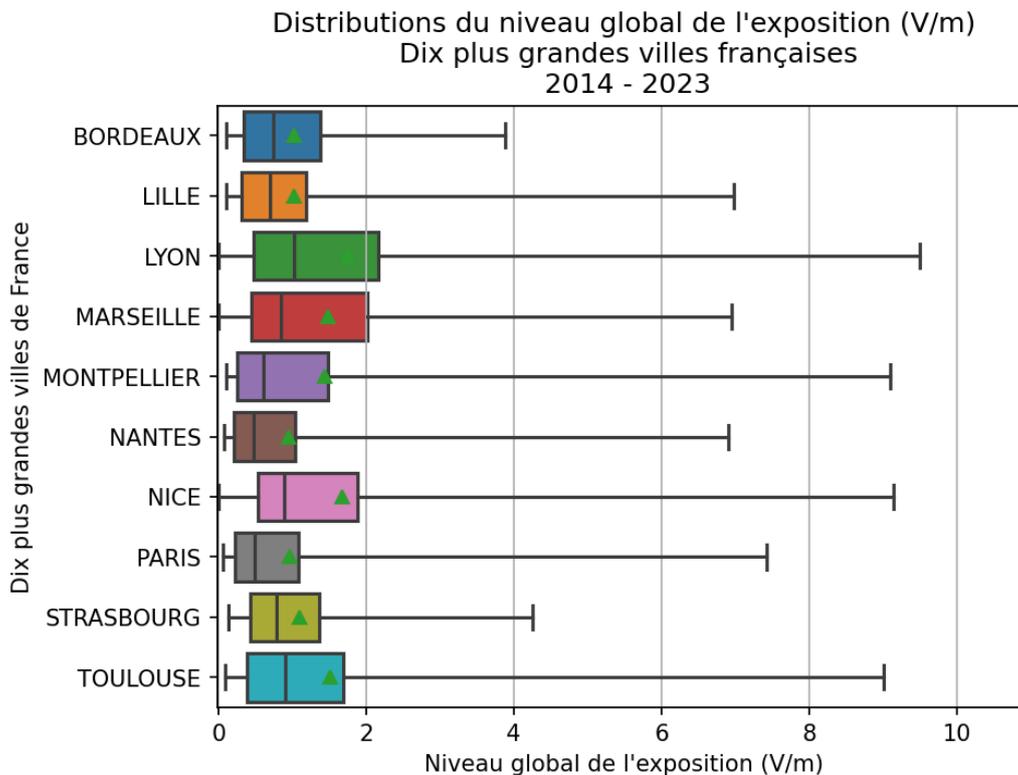


Figure 11 Distributions du niveau global de l'exposition dans les dix plus grandes villes françaises

	Médiane	Moyenne
<i>BORDEAUX</i>	0,74	1,0
<i>LILLE</i>	0,70	1,0
<i>LYON</i>	1,0	1,7
<i>MARSEILLE</i>	0,85	1,5
<i>MONTPELLIER</i>	0,61	1,4
<i>NANTES</i>	0,48	0,94
<i>NICE</i>	0,89	1,7
<i>PARIS</i>	0,49	0,97
<i>STRASBOURG</i>	0,78	1,1
<i>TOULOUSE</i>	0,90	1,5

Tableau 4 Statistiques du niveau global de l'exposition dans les dix plus grandes villes de France (en V/m)

La Figure 11 et le Tableau 4 présentent le niveau global de l'exposition pour les dix plus grandes villes françaises, ils montrent que Lyon, Nice et Toulouse (suivi de près par Marseille) sont les villes où les niveaux mesurés sont les plus élevés en moyenne. Ces villes ne sont pas celles où le nombre de mesures est le plus élevé en absolu ou relativement au nombre d'habitants.

La Figure 12 présente les distributions du niveau global de l'exposition pour les dix grandes villes françaises en séparant les mesures faites en extérieur (rue, route, terrasse, balcon etc.) par rapport aux mesures faites en intérieur (à l'intérieur des lieux d'habitations ou ERP). Ce graphique montre que les mesures effectuées en extérieur présentent des niveaux d'exposition plus forts que les mesures en intérieur. Cela semble logique du fait de l'atténuation des parois extérieures des bâtiments. Les distributions des mesures en intérieur par rapport à celles en extérieur se recouvrent plus ou moins en fonction des villes, certaines villes comme Lyon ou Marseille présentent des distributions intérieur/extérieur quasi équivalente tandis que pour Paris ou Montpellier les distributions

sont plus éloignées. Le Tableau 5 présente les moyennes intérieures et extérieures pour les dix plus grandes villes de France ainsi que le nombre de mesures.

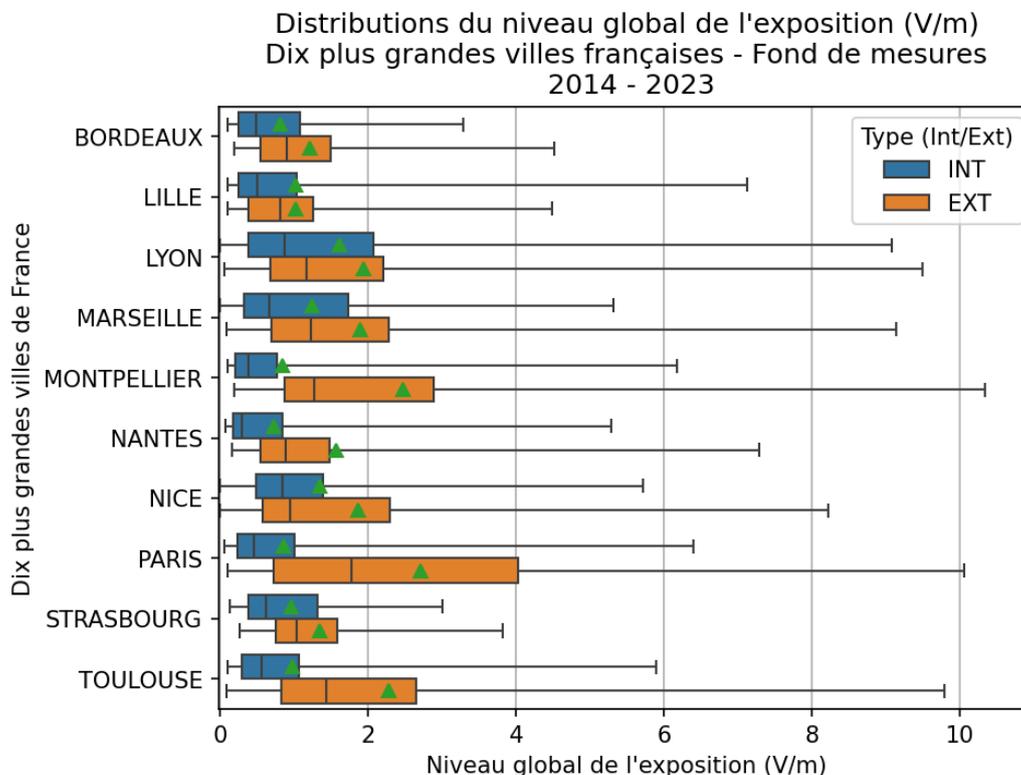


Figure 12 Distributions du niveau global de l'exposition en intérieur et en extérieur dans les dix plus grandes villes françaises

Villes	Type (Intérieur/Extérieur)	Nombre de mesures	Moyenne (V/m)
BORDEAUX	EXT	67	1,2
	INT	61	0,80
LILLE	EXT	262	1,0
	INT	201	1,0
LYON	EXT	272	1,9
	INT	388	1,6
MARSEILLE	EXT	96	1,9
	INT	159	1,2
MONTPELLIER	EXT	53	2,5
	INT	90	0,8
NANTES	EXT	61	1,6
	INT	170	0,72
NICE	EXT	126	1,9
	INT	68	1,3
PARIS	EXT	307	2,7
	INT	4721	0,86
STRASBOURG	EXT	34	1,4
	INT	67	0,96
TOULOUSE	EXT	145	2,3
	INT	206	0,98

Tableau 5 Nombres de mesure en intérieur et extérieur et moyennes du niveau global de l'exposition (en V/m)

La Figure 13 présente la moyenne du niveau global de l'exposition en fonction de la hauteur moyenne de mesure par rapport au sol et la Figure 14 illustre les mêmes grandeurs mais en séparant mesures en intérieur et en extérieur. Sur les Figure 13 et Figure 14 ont été tracées les droites de régression linéaire. Le coefficient de corrélation de Pearson pour la moyenne du niveau global de l'exposition en fonction de la hauteur de mesure (Figure 13) est de 0,54. Les coefficients de corrélation de Pearson pour les moyennes intérieur et extérieur du niveau global de l'exposition en fonction de la hauteur de mesure (Figure 14) sont respectivement de 0,68 et 0,76.

Le graphique de la Figure 13 montre que plus la hauteur moyenne des mesures est grande plus le niveau moyen d'exposition est élevé que ce soit en intérieur ou en extérieur, ce phénomène est moins visible pour Strasbourg et Paris.

Le graphique de la Figure 14 montre quant à lui que pour les mesures en intérieur et en extérieur, une relation de linéarité apparaît entre hauteur de mesure et niveau global de l'exposition. Les données de hauteur de mesure expliquent sans doute le classement des dix plus grandes villes de France en termes d'exposition. En effet, les villes dont les mesures montrent les niveaux moyens les plus élevées (Paris, Marseille et Montpellier en extérieur et Marseille, Lyon, Nice en intérieur) sont aussi celles où les mesures ont été effectuées à des hauteurs relativement élevées par rapport au sol. Comme les antennes-relais sont communément installés en ville sur les toits d'immeubles, il est logique de détecter des expositions plus fortes dans les étages élevés.

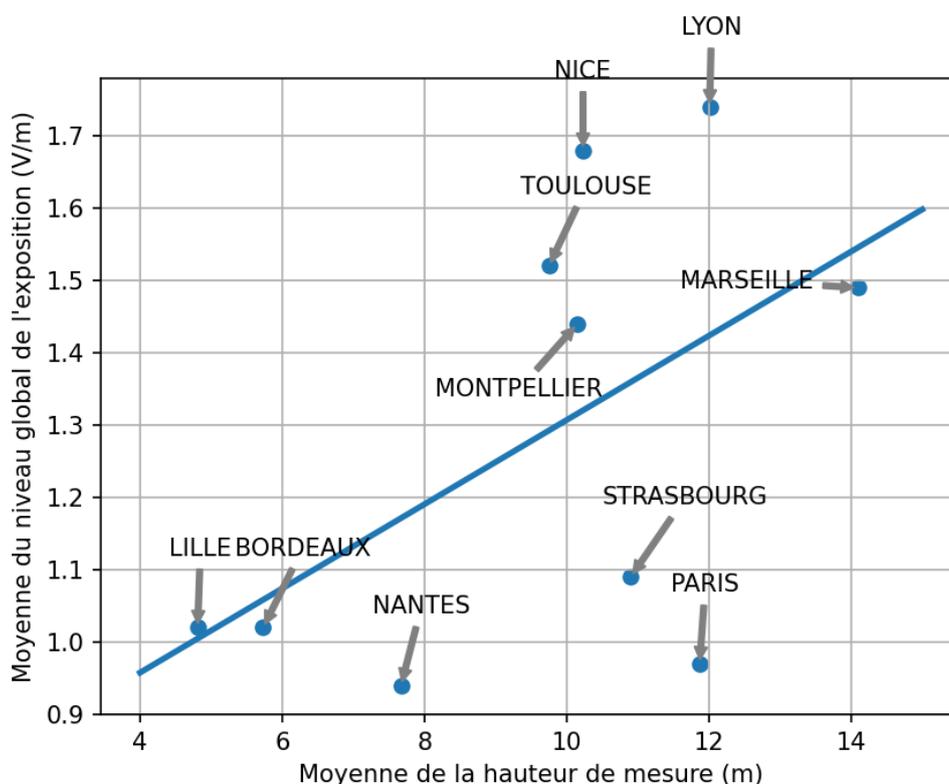


Figure 13 Moyenne du niveau global de l'exposition en fonction de la hauteur de mesure

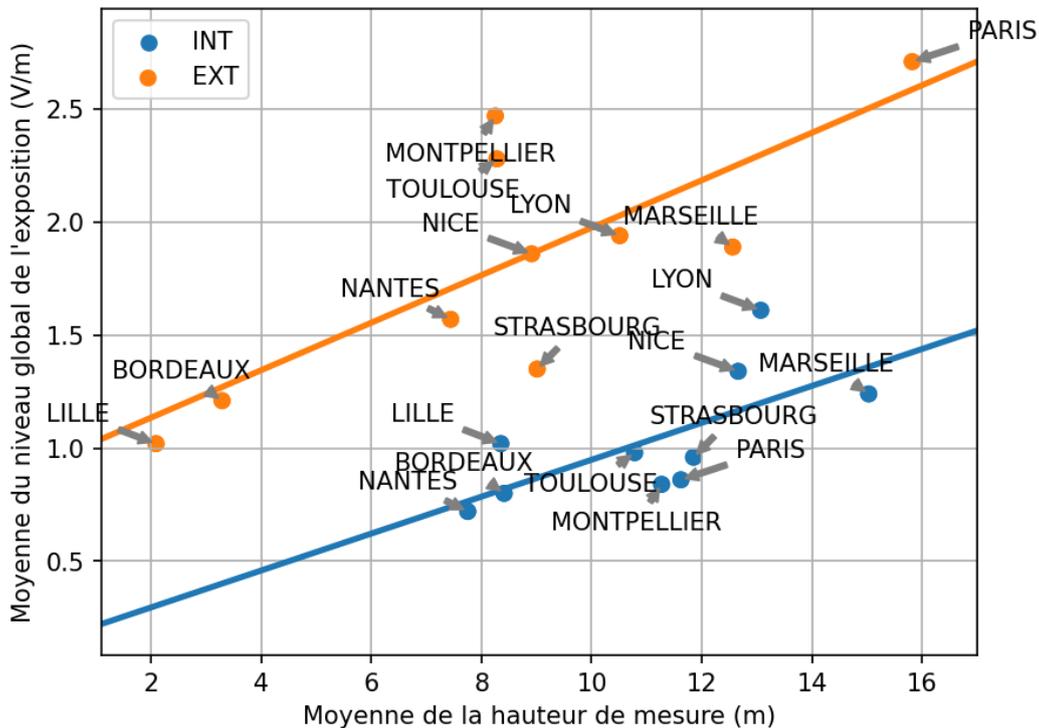


Figure 14 Moyenne du niveau global de l'exposition en fonction de la hauteur de mesure en séparant mesure en intérieur et extérieur

Afin de compléter l'analyse, la hauteur des émetteurs dans chaque ville a été étudiée. En effet, la probabilité de mesurer des niveaux supérieurs à la moyenne ne dépend pas seulement de la hauteur de mesure mais également de la hauteur des antennes relais installées dans chacune des dix villes. La puissance des antennes peut également jouer sur les niveaux d'exposition, cependant, il n'y a pas de différence significative entre les puissances d'émissions des antennes dans les dix plus grandes villes françaises.

La Figure 15 présente la distribution des hauteurs des émetteurs dans les dix plus grandes villes de France. Le graphique montre que les altitudes moyennes des antennes par rapport au sol se situent entre 22 et 30 mètres. Les plages interquartiles sont distribuées à peu près de la même manière, mis à part Montpellier et Toulouse qui présentent des hauteurs d'antennes un peu plus faibles que les autres villes, tandis que Paris et Strasbourg sont des majorants. Ceci peut expliquer pourquoi, en Figure 13, Paris et Strasbourg présentent des niveaux de l'exposition plus faibles que les autres villes, tandis que leurs mesures étaient relativement plus hautes par rapport au sol. Dans le cas de Toulouse et Montpellier, on remarque qu'en extérieur sur la Figure 14 des niveaux moyens de l'exposition à plus 2,2 V/m sont atteints pour des hauteurs moyennes un peu au-dessus de 8 m tandis que Nice, Lyon, Marseille se situent à des niveaux un peu plus bas. Cela est probablement dû au fait que les parcs antennaires de Toulouse et Montpellier sont légèrement plus bas que les autres villes comme cela est montré en Figure 15.

Aucune autre ville ne présente statistiquement des hauteurs d'émetteur exceptionnellement hautes. Cela confirme que plus les mesures effectuées dans une ville sont réalisées en grande hauteur, plus les niveaux mesurés sont hauts.

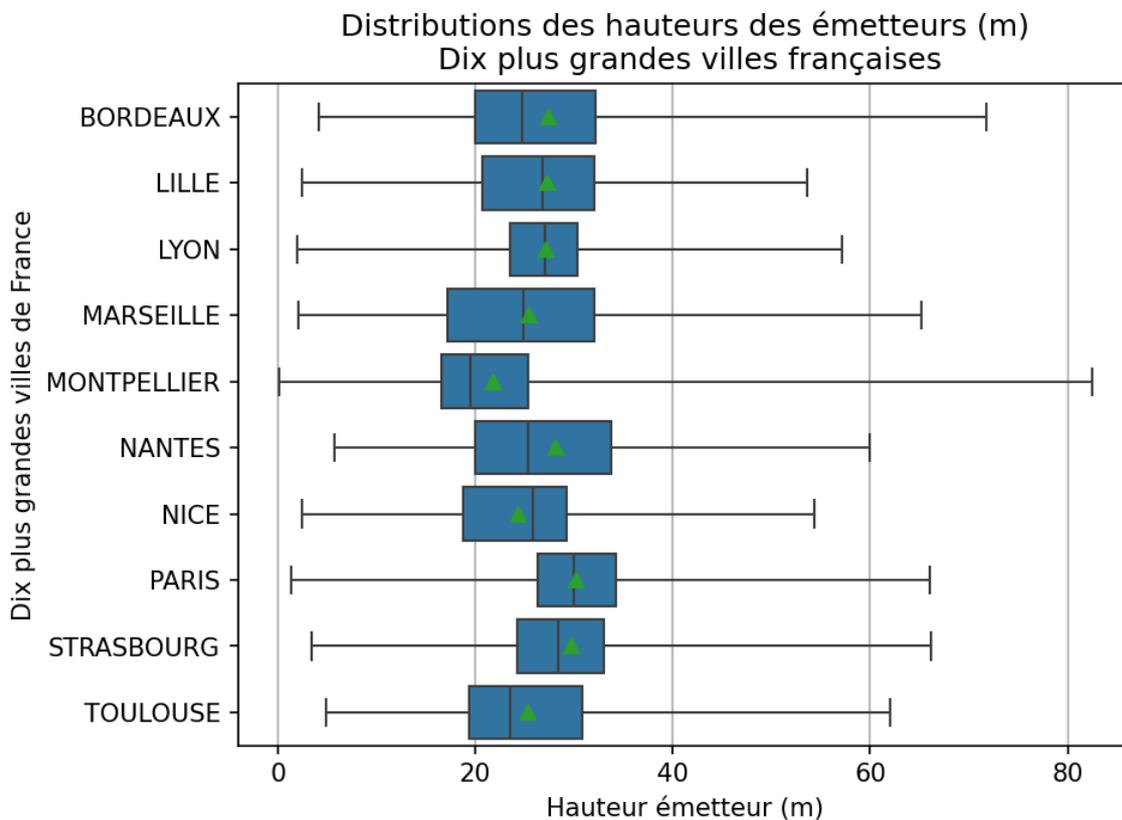


Figure 15 Distribution des hauteurs des émetteurs dans les dix plus grandes villes françaises

3. Bilan détaillé des mesures de l'année 2023

3.1 Typologie des demandes de l'année 2023

Comme les années précédentes, le nombre de demandes de mesure dans une zone géographique apparaît proportionnel à sa population. Il existe en effet une corrélation entre le nombre de mesures réalisées dans un département et son nombre d'habitants (cf. Figure 16). Les deux départements effectuant le plus de mesures sur l'année 2023 sont ceux de Paris et du Rhône et sont les deux points hauts dans le graphique de la Figure 16.

Le coefficient de Pearson entre le nombre de mesures et le nombre d'habitants vaut 0,74, ce qui traduit une corrélation élevée. Rapporté à sa population, le nombre de demandes dans une zone apparaît similaire en milieu urbain ou rural.

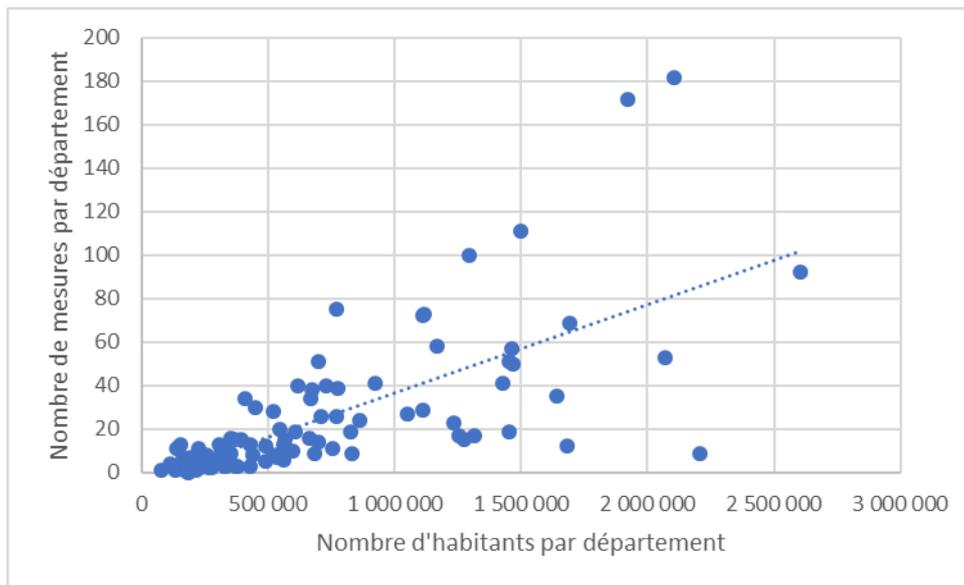


Figure 16 corrélation entre le nombre de mesures réalisées dans les départements français et leur nombre d'habitants

3.2 Analyse globale des résultats de l'année 2023

L'analyse globale porte sur les résultats des mesures selon le cas A du protocole. Ces mesures sont disponibles pour l'ensemble des 2 386 mesures analysées puisque celles réalisées selon le cas B du protocole sont systématiquement précédées d'une mesure selon le cas A. Ces mesures globales sont effectuées à l'aide d'une sonde large bande qui fournit une valeur de champ électrique. La sensibilité typique des sondes utilisées pour l'analyse globale de l'exposition est de 0,38 V/m. Les appareils de mesures employés permettent néanmoins de recueillir des valeurs statistiquement exploitables jusqu'à 0,05 V/m.

La Figure 17 illustre la répartition de niveaux d'exposition mesurés à la sonde large bande selon le cas A du protocole. Une grande majorité (72 %) de ces niveaux d'exposition sont inférieurs à 1 V/m. Près de 3,6 % des niveaux mesurés dépassent la valeur d'attention de 6 V/m à partir de laquelle une mesure selon le cas B du protocole devient obligatoire.

Les niveaux mesurés sont tous nettement inférieurs aux valeurs limites réglementaires qui varient entre 28 V/m et 87 V/m selon les fréquences. La conformité du niveau d'exposition au champ électromagnétique dans la bande 100 kHz – 6 GHz vis-à-vis du décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 a été déclarée sur tous les sites ayant fait l'objet d'une mesure.

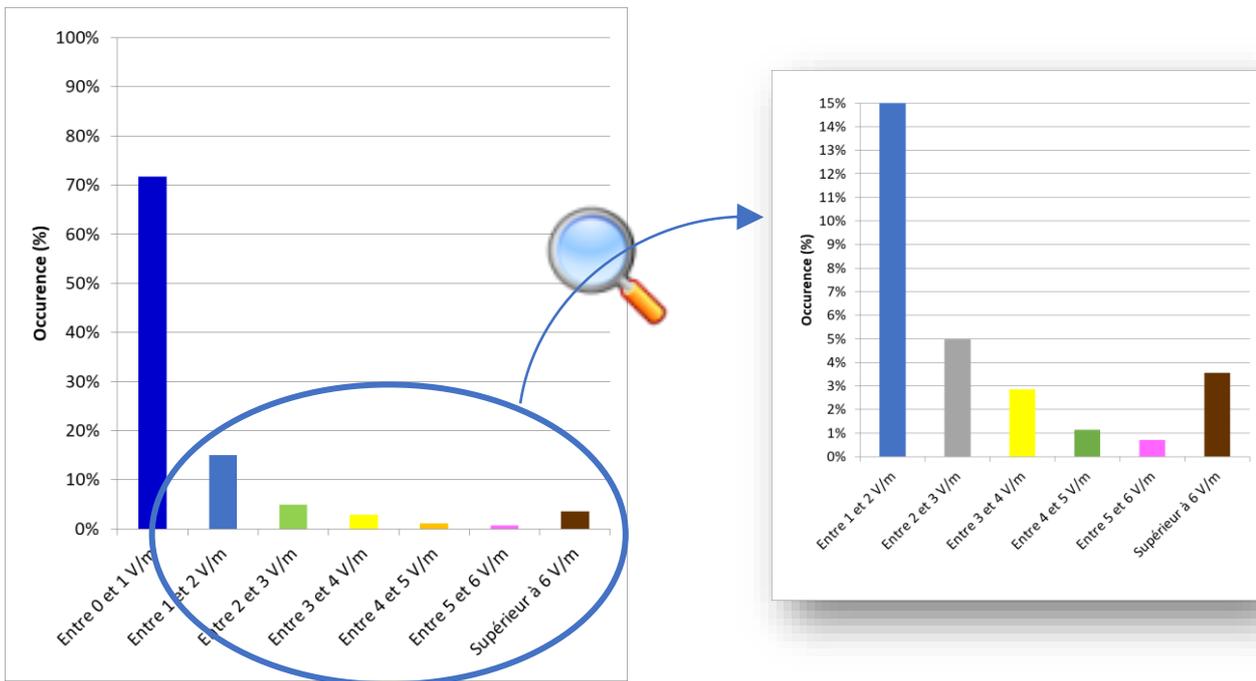


Figure 17 distribution des niveaux de champs électriques mesurés selon le cas A du protocole de mesure et zoom sur la distribution des valeurs supérieures à 1 V/m

La Figure 18 compare les niveaux de champs électriques mesurés en milieu rural et en milieu urbain. Les distributions sont globalement similaires avec une large majorité de niveaux inférieurs à 1 V/m (92 % des cas en milieu rural et 65 % des cas en milieu urbain). Toutefois, les niveaux mesurés apparaissent plus élevés en milieu urbain qu'en milieu rural. Cette tendance s'est accentuée depuis 2018.

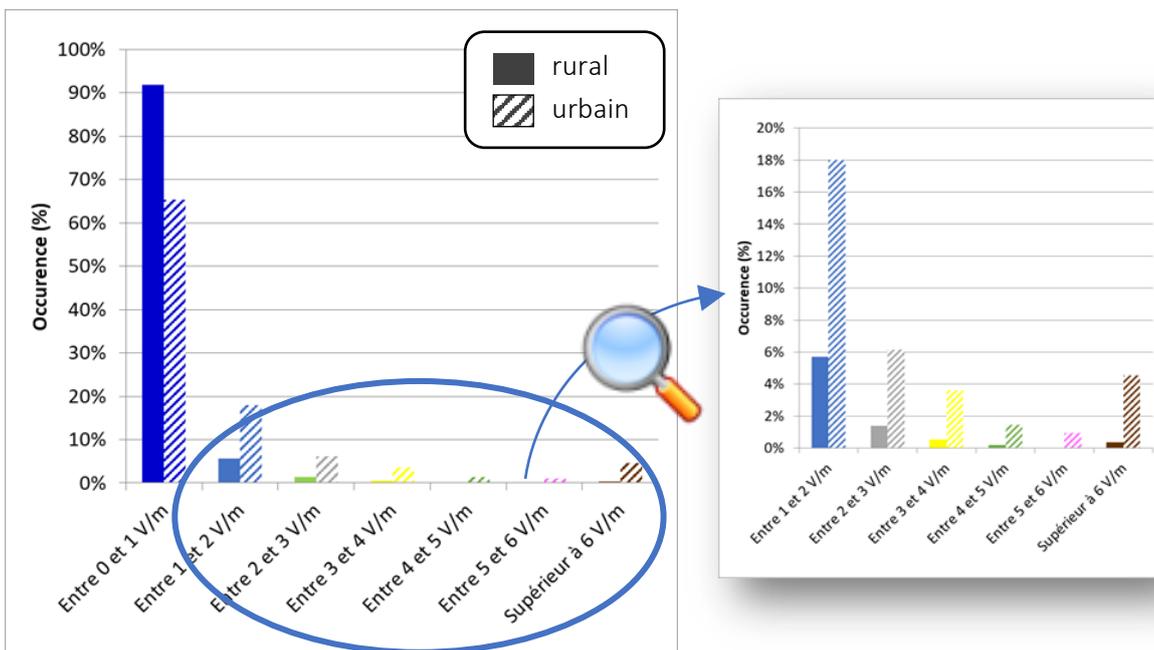


Figure 18 Comparaison des distributions des niveaux de champ électrique mesuré en milieu rural (barres pleines) et en milieu urbain (barres hachurées) et zoom sur les distributions au-delà de 1 V/m

La

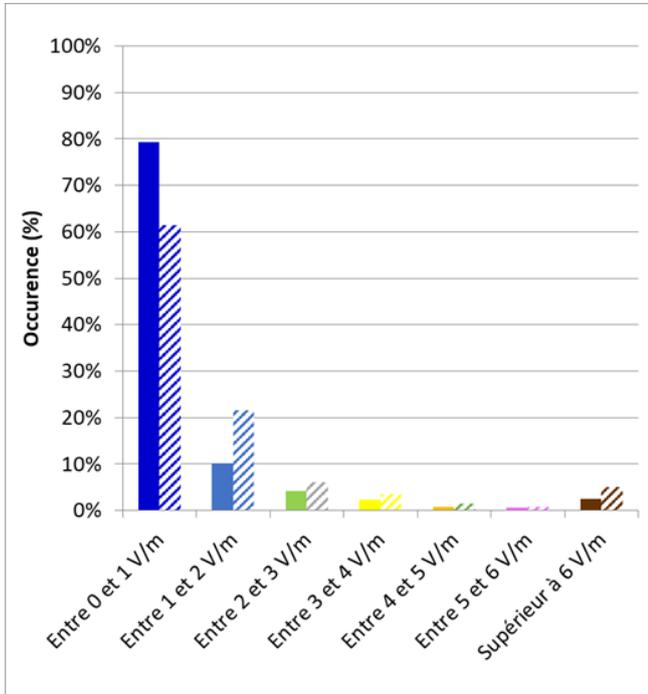


Figure 19 compare les niveaux des champs électriques mesurés en intérieur et en extérieur. Les distributions sont également globalement similaires, avec une large majorité de niveaux inférieurs à 1 V/m (79 % des cas en intérieur et 62 % des cas en extérieur). Toutefois, les niveaux mesurés sont légèrement plus élevés en extérieur qu'en intérieur comme les années précédentes.

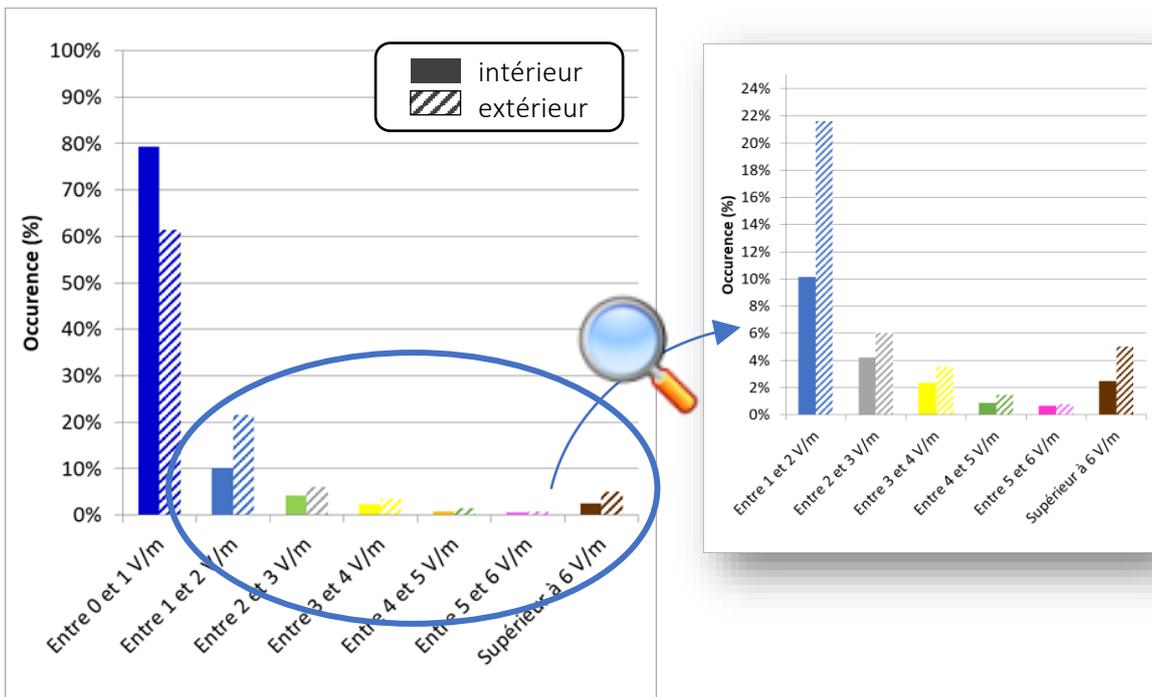


Figure 19 Comparaison des distributions des niveaux de champ électrique mesurés en intérieur (barres pleines) et en extérieur (barres hachurées)

3.3 Analyse détaillée des résultats de l'année 2023

Dans 1 783 cas sur les 2 386 analysés dans cette étude, une mesure selon le cas B du protocole de mesure a été réalisée. Les informations sur la contribution des différentes sources d'exposition sont alors disponibles.

Une mesure selon le cas B est réalisée si la demande l'exige, mais elle est systématique en cas de dépassement du niveau de 6 V/m lors de la mesure selon le cas A du protocole.

Les principales sources d'exposition mesurées sont la téléphonie mobile (TM), les services de radiodiffusion FM et le WiFi (cf. Figure 20). La catégorie « Autre service » comprend les services de HF (ondes courtes, moyennes et longues), PMR (*Professional Mobile Radio*), Radars, diffusion TV et de téléphone sans fil de type DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*).

Dans la majorité des cas (58 %), la téléphonie mobile est le contributeur principal de l'exposition mesurée. Cette tendance apparaît moins marquée en milieu rural où la téléphonie mobile reste le contributeur majoritaire le plus fréquent, mais avec une prévalence moindre (31 % des cas). Elle est plus nette en extérieur où, dans près de 74 % des cas, la téléphonie mobile apparaît comme le contributeur principal.

La radiodiffusion FM est moins souvent le contributeur principal en milieu rural (3 % des cas) qu'en milieu urbain (7 % des cas). Enfin, dans près de 37 % des cas en milieu rural et dans 14 % des cas en milieu urbain, aucune source détectable (c'est-à-dire produisant typiquement à elle seule plus de 0,05 V/m) n'est relevée. Ces cas correspondent à tous ceux où une mesure selon le cas B a été explicitement demandée, alors que le champ total était très faible.

En environnement intérieur, le WiFi est le contributeur principal dans 22 % des cas. Ce chiffre est légèrement en hausse par rapport aux années précédentes où le WiFi était contributeur dans seulement 8 à 17 % des cas. En extérieur, le WiFi est contributeur principal dans 1 % des mesures réalisées en 2023.

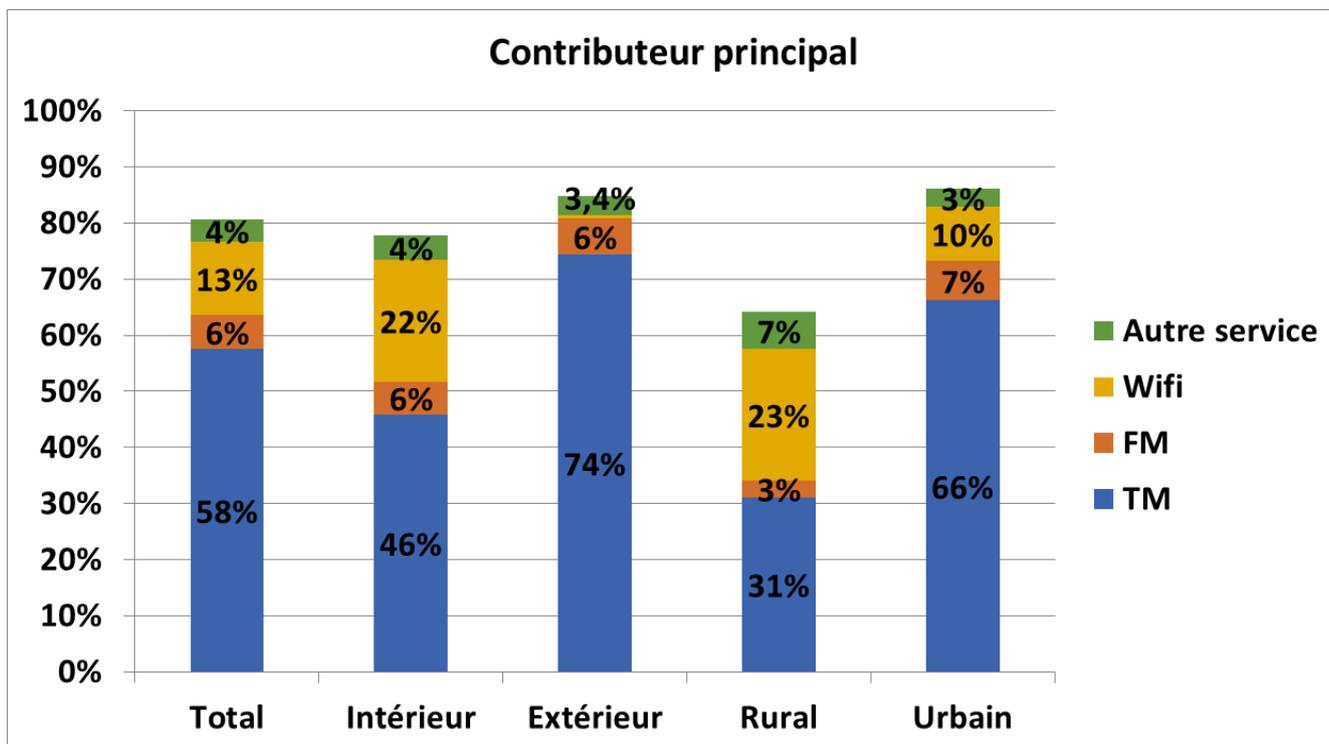


Figure 20 synthèse des contributeurs principaux selon la typologie des lieux réalisée sur les résultats des 1 783 mesures effectuées en 2023 selon le cas B du protocole

La Figure 21 nous révèle que, lorsque la téléphonie mobile (TM) est le contributeur principal, 90 % des niveaux d'exposition globale sont inférieurs à 4,5 V/m alors que lorsque le WIFI domine, 90 % des niveaux mesurés sont inférieurs à 0,5 V/m.

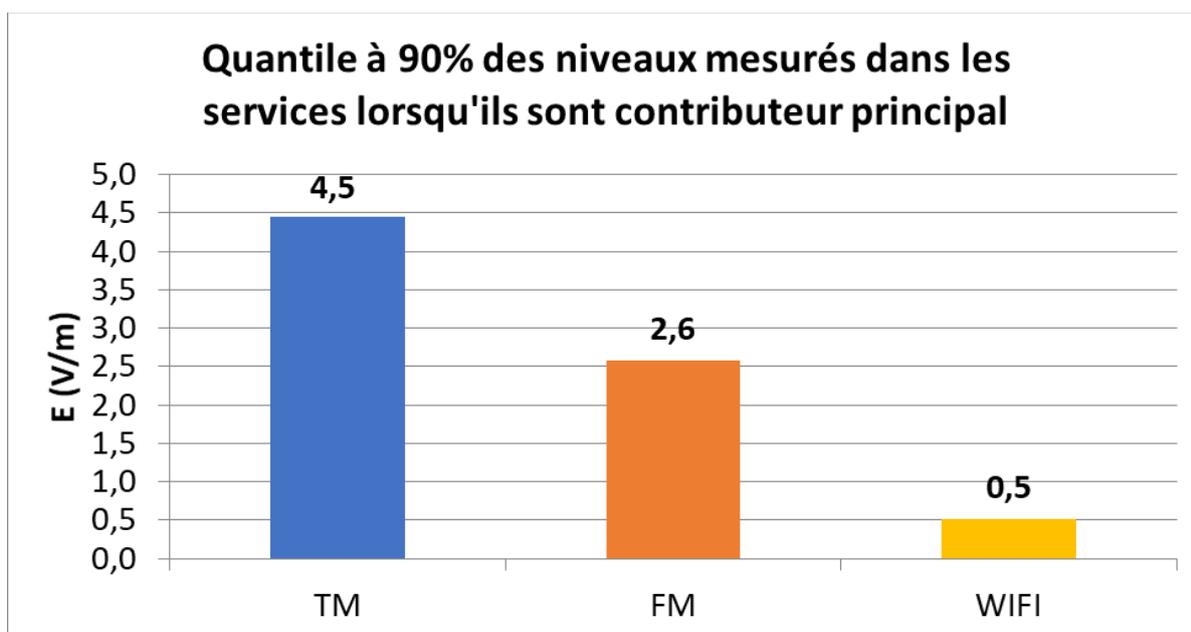


Figure 21 Valeur des quantiles à 90 % des niveaux d'exposition globale mesurés lorsque différents services dominent. La figure se lit ainsi : lorsque la téléphonie mobile (TM) domine, 90 % des niveaux d'exposition globale mesurés sont inférieurs à 4,5 V/m

Lorsque la téléphonie mobile est le contributeur principal (c'est-à-dire dans 1 025 cas sur 1 783 cas B), le niveau d'exposition le plus important est constaté, dans près de 55 % des cas observés, dans les bandes basses (700, 800 ou 900 MHz), comme l'illustre la Figure 22. Jusqu'en 2018, c'était la bande 900 MHz qui dominait dans près de 50 % des cas. Depuis 2019, cette proportion évolue et les bandes 700 et 800 MHz sont désormais des contributeurs principaux dans respectivement 15 et 20 % des cas où la téléphonie mobile domine.

Lorsque le WiFi ou la HF est le contributeur principal, les niveaux sont par ailleurs particulièrement faibles (respectivement 0,5 V/m et 0,4 V/m à 90%) : cela traduit avant tout que le contributeur TM dans ces cas est bien inférieur à la moyenne observée sur l'ensemble du territoire.

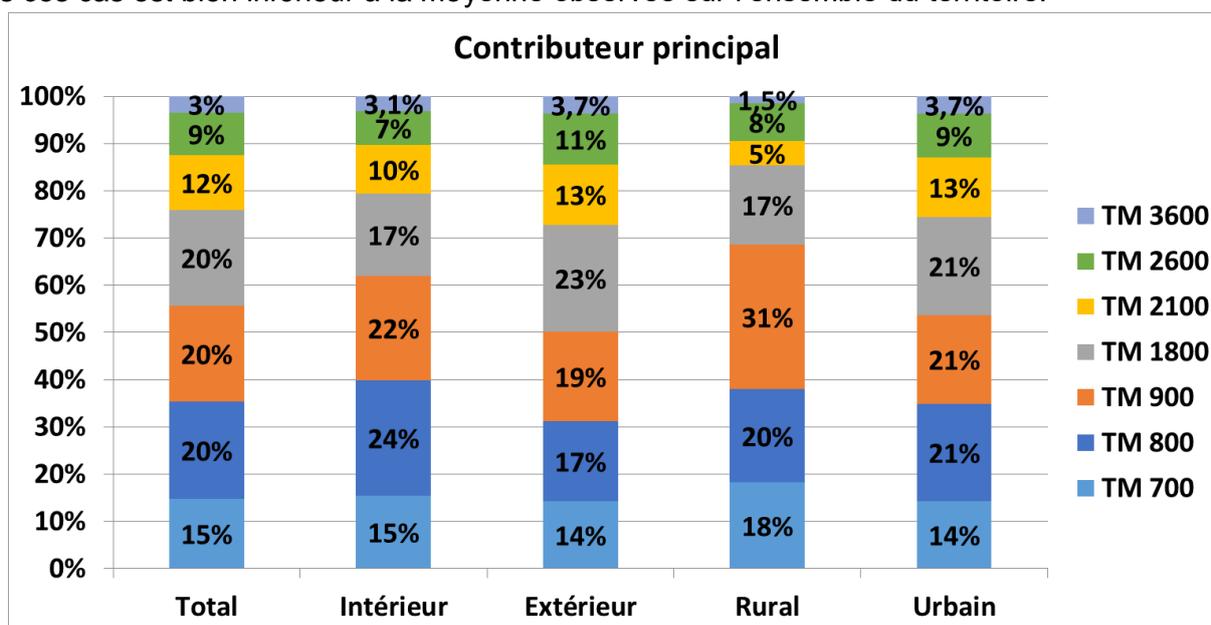


Figure 22 Dans le cas où la téléphonie mobile est le contributeur principal, nature des contributions principales selon les bandes de fréquence

	Moyenne	Médiane (50%)	99 %	Max
TM 700	0,26	0,54	4,4	7,9
TM 800	0,32	0,61	4,0	8,2
TM 900	0,34	0,65	4,2	14,5
TM 1800	0,34	0,69	4,4	8,5
TM 2100	0,30	0,65	4,3	15,7
TM 2600	0,29	0,56	4,5	6,4
TM 3600	0,22	0,39	2,8	7,1
TM	0,83	1,6	9,2	23,0

Tableau 6 Quantiles¹² des niveaux d'exposition mesurés (en V/m) dans les différentes bandes de fréquence de la téléphonie mobile lorsque celle-ci est le contributeur principal du niveau d'exposition mesuré

¹² Le tableau se lit ainsi : lorsque la téléphonie mobile (TM) est le contributeur principal, 99% des niveaux d'exposition mesurés en 2023 dans la bande 700 MHz sont inférieurs à 4,4 V/m.

Annexe 1 : Le protocole de mesure

L'ANFR tient à jour depuis 2002 le protocole de mesure de l'exposition aux ondes référencé au Journal Officiel qui permet d'évaluer le niveau global d'exposition aux ondes et de vérifier la conformité des niveaux d'exposition vis-à-vis des valeurs limites réglementaires. Ce protocole couvre l'ensemble des émissions radioélectriques de 9 kHz à 300 GHz.

La version 3.1 du protocole de mesure en vigueur jusqu'en novembre 2018 portait exclusivement sur les radiofréquences entre 100 kHz et 300 GHz. La version 4.0 en vigueur à partir de novembre 2017 permet de mieux caractériser les niveaux de champs créés par les nouveaux objets connectés et d'évaluer des niveaux d'exposition dès 9 kHz, notamment pour prendre en compte les compteurs communicants.

Selon l'objet de l'évaluation, les mesures portent donc sur la gamme de fréquences 100 kHz – 300 GHz, ou sur la bande de fréquences 9 kHz – 100 kHz.

Ce rapport porte exclusivement sur l'évaluation dans la bande de fréquences au-delà de 100 kHz et ne traite pas des objets communicants fixes.

La liste des services dans cette bande de fréquences pris en compte est indiquée sur le site www.anfr.fr. Les principaux services sont la téléphonie mobile dans les différentes bandes de fréquences, la radiodiffusion FM, la télévision (TV), les réseaux radio professionnels (PMR), les services HF (ondes courtes, moyennes et longues), les radars, le Wifi et le téléphone sans fil (DECT).

La première étape du processus de mesure au-delà de 100 kHz consiste à choisir entre une mesure de l'exposition globale large bande (cas A) ou détaillée en fréquences (cas B). Le cas A globalise toutes les sources et fréquences et repose sur l'utilisation d'une sonde large bande. Le cas B, toujours précédé d'un cas A, précise les valeurs de champs par sources, fréquences ou sous-bandes de fréquences. Il repose sur l'utilisation d'un analyseur de spectre. Ce choix tient compte de la demande formulée mais, lorsque le niveau d'exposition évalué selon le cas A du protocole dépasse le niveau d'attention de 6 V/m, une évaluation selon le cas B du protocole devient obligatoire.

Les niveaux mesurés au-delà de 100 kHz sont en général destinés à refléter des valeurs moyennes dans l'espace par rapport à la dimension du corps humain.

Trois points de mesure sont au minimum utilisés (cf. Figure 23), ce qui permet en général de répondre aux exigences relatives à l'incertitude.

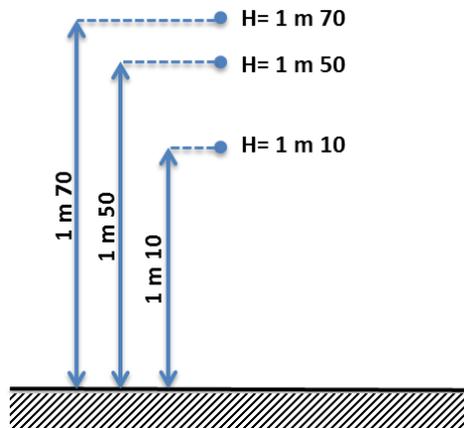


Figure 23 position des points de mesure pour le calcul d'une valeur moyenne spatiale sur trois points

Selon la réglementation en vigueur, pour des fréquences comprises entre 100 kHz et 10 GHz, la valeur moyenne du champ électrique doit être mesurée sur un intervalle de temps de six minutes. Au-delà de 10 GHz, le temps d'intégration est de $68/f^{1,05}$ minutes (f est exprimée en GHz).

Annexe 2 : Le dispositif national de surveillance de l'exposition du public aux ondes radioélectriques

Afin de renforcer la transparence et l'indépendance du financement des mesures d'exposition du public aux ondes électromagnétiques, la loi n° 2009-967 du 3 août 2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement a mis en place un nouveau dispositif de surveillance et de mesure des champs électromagnétiques.

Le financement des mesures réalisées par les laboratoires accrédités repose sur un fonds public alimenté jusqu'à fin 2018 par une taxe payée principalement par les opérateurs de téléphonie mobile. L'ANFR assure la gestion de ce fonds et met à disposition du public les résultats des mesures.

Toute personne physique ou morale peut demander à faire mesurer l'exposition aux ondes électromagnétiques aussi bien dans les locaux d'habitation que dans des lieux accessibles au public (parcs, commerces...). Cette démarche est gratuite.

La personne qui souhaite faire réaliser une mesure remplit un formulaire de demande, téléchargeable sur le site internet www.service-public.fr. Elle doit faire contresigner ce formulaire par un organisme habilité par le décret n° 2013-1162 du 14 décembre 2013 : collectivités locales (communes, groupements de communes...), agences régionales de santé, certaines associations agréées par le ministère de l'environnement ou le ministère de la santé.

En vue de simplifier les démarches pour les usagers, un téléservice a été mis en place pour ces demandes de mesure de l'exposition aux ondes électromagnétiques : <http://mesures.anfr.fr>.

La personne transmet la demande à l'ANFR qui missionne un laboratoire accrédité et indépendant pour réaliser la mesure. L'ANFR règle ensuite au laboratoire le montant de l'intervention. Le demandeur reçoit directement résultats de la mesure effectuée. Pour toute mesure réalisée sur le territoire d'une commune, une synthèse du rapport est en outre transmise à la mairie. Enfin, les mesures réalisées sont rendues publiques sur www.cartoradio.fr.

Ce dispositif est opérationnel depuis le 1^{er} janvier 2014.

En juin 2018, ce dispositif national de surveillance a évolué pour prendre en compte de nouvelles sources potentielles d'exposition liées aux objets communicants fixes et pour permettre l'évaluation de l'exposition dans la bande de fréquences intermédiaires entre 9 kHz et 100 kHz conformément au protocole V.4 entré en vigueur en novembre 2017.

ANNEXE 3 : La boîte à moustaches ou boîte de Tukey

La boîte à moustaches ou boîte de Tukey est une manière de représenter les distributions statistiques qui va faciliter la comparaison entre plusieurs distributions.

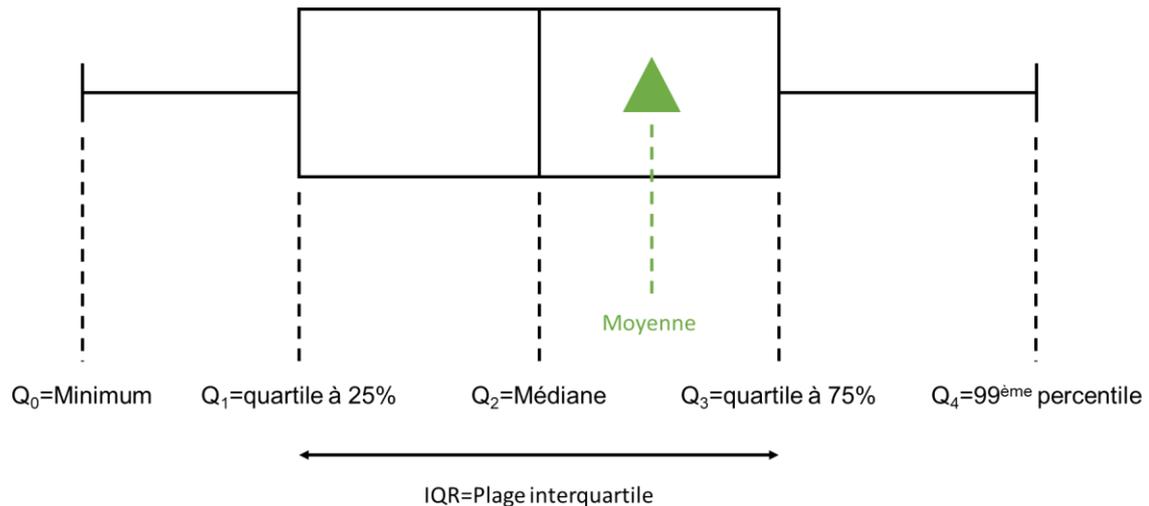


Figure 24 Schéma explicatif de la représentation en "boîte à moustaches"

La boîte à moustaches se définit sur l'identification d'un certain nombre de paramètres :

- Q_0 : la valeur minimum du jeu de mesures
- Q_4 : le 99^{ème} percentile
- Q_2 : la valeur médiane du jeu de mesures, valeur délimitant 50% des mesures les plus petites et 50 % des valeurs les plus grandes,
- Q_1 : le quartile à 25 % est la valeur médiane de la première moitié du jeu de mesures,
- Q_3 : le quartile à 75 % est la valeur médiane de la deuxième moitié du jeu de mesures,
- Et enfin, la moyenne qui est représentée par un triangle vert.

Sur base de ces éléments, la plage interquartile peut être déterminée par la différence entre Q_3 et Q_1 :

$$IQR = Q_3 - Q_1$$