

Mesures d'exposition au rayonnement non ionisant
Rapport annuel 2023 - Consortium de projet SwissNIS



Berne, 20 août 2024

Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Mentions légales

Mandant : Office fédéral de l'environnement (OFEV), Division Bruit et RNI, CH-3003 Berne
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Mandataire : Consortium de projet SwissNIS

TPH	G+P
Institut TroPeakal et de Santé Publique Suisse	Grolimund + Partner AG
Kreuzstrasse 2	Entfelderstrasse 45
4123 Allschwil	5000 Aarau
FaW	NED-TECH
Fields at Work GmbH	NED - TECH SA
Hegibachstrasse 41	Unterholz 26
8032 Zürich	3380 Wangen an der Aare

Auteur/trice :

Toni Ziegler, G+P, chef de projet
Martin Rööfli, TPH, chef de projet adjoint
Dominik Haas, G+P
Nicolas Loizeau, TPH
Marco Zahner, FaW
Christa Stephan, G+P
Johannes Schindler, G+P
Markus Gugler, NED-TECH
Jürg Fröhlich, FaW
Erik Bühlmann, G+P
Michal Kovacik, G+P

Accompagnement de l'OFEV :

Sebastian Egger
Urs Walker
Alexander Reichenbach
Andreas Siegenthaler

Remarque : Cette étude/ce rapport a été rédigé(e) sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Le mandataire est seul responsable de son contenu.

Photo de couverture : Nicolas Loizeau

Laisser

Version	Date	Auteurs	Description	Distributeur
V 1.1	20.08.2024	Équipe de projet	Rapport annuel 2023	OFEV

Sommaire

1. Introduction et objectifs	5
2. Concept et méthodes	6
2.1 Concept de mesure	6
2.2 Instruments de mesure	7
2.2.1 Spécifications générales de l'appareil	7
2.2.2 Nouvelle version de l'ExpoM-RF-Utility (avril 2023)	8
2.2.3 Sélection des bandes de fréquences	8
2.2.4 Précision et incertitude de mesure	10
2.2.5 Influence du blindage du corps	11
2.2.6 Correction de la diaphonie	12
2.3 Mesures	12
2.3.1 Mesures d'itinéraires	12
2.3.2 Mesures spot ou d'habitation	13
2.3.3 Mesures permanentes stationnaires	14
2.4 Sélection des sites de mesure	15
2.4.1 Représentativité des mesures d'itinéraires	15
2.4.2 Mesures d'itinéraires entre 2021 et 2023	16
2.4.3 Mesures d'habitations / spots	18
2.4.4 Mesures permanentes stationnaires	20
2.5 Gestion des données	21
2.5.1 Fichiers de mesure et base de données	21
2.5.2 Préparation des données	22
2.5.3 Statistiques descriptives	24
3. Résultats	27
3.1 Mesures d'itinéraires	27
3.1.1 Analyse du premier cycle de mesure des itinéraires	27
3.1.1.1 Aperçu général - Exposition aux HF	27
3.1.1.2 Aperçu général - Exposition aux BF	33
3.1.1.3 Épuisement de la valeur limite d'immissions (VLI)	37
3.1.1.4 Analyses supplémentaires dans les écoles - exposition aux HF et aux BF	38
3.1.2 Comparaison de l'exposition en 2021 et 2023	40
3.2 Mesures spot ou d'appartement	48
3.2.1 Exposition aux HF	48
3.2.2 Exposition aux BF	53
3.3 Mesures permanentes stationnaires	56
4. Discussion et conclusions	68
4.1 Mesures d'itinéraires	68

4.1.1 Premier cycle de mesure achevé des mesures d'itinéraires	68
4.1.2 Mesures dans les écoles	69
4.1.3 Comparaison 2021/2023 pour les mesures d'itinéraires	69
4.2 Mesures spot	71
4.2.1 Exposition aux HF	71
4.2.2 Exposition aux BF	73
4.2.3 Mesures permanentes stationnaires.....	74
4.3 Limitations	77
5. Bibliographie	79
6. Sources de données	81
I Glossaire	82
II Liste des communes où se trouvent les microenvironnements.....	84
III Paramètres statistiques des mesures d'itinéraires	91
IV Caractéristiques statistiques des mesures de spots	114
V Caractéristiques statistiques des mesures permanentes stationnaires	126
VI Liste des sites de mesures spot	139

1. Introduction et objectifs

Depuis la révision de l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI) d'avril 2019, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) est explicitement chargé de relever périodiquement l'exposition de la population au rayonnement non ionisant (RNI) et d'établir une vue d'ensemble nationale (art. 19b, al. 1, ORNI). [1]. A cette fin, l'OFEV a lancé en 2020 un appel d'offres pour un projet de collecte de données de mesure représentatives de l'exposition de la population suisse au rayonnement non ionisant dans sa vie quotidienne.

Le présent document est le troisième rapport annuel du consortium de projet. Le rapport annuel 2023 décrit d'une part le concept de base et le mode de collecte des données, et présente d'autre part les résultats des mesures. Le présent rapport annuel se concentre sur les résultats de mesure issus de quatre collectes de données :

- Pour les mesures d'itinéraires, un premier cycle de mesures a été achevé en juin 2023 pour un total de 300 microenvironnements, 188 espaces publics et 328 transports en commun. Les résultats du "premier cycle de mesure des itinéraires", comprenant les données de juillet 2021 à juin 2023, sont présentés dans le chapitre 3.1.1 "Mesures d'itinéraires".
- Pour les mesures d'itinéraires, le deuxième cycle de mesure a démarré mi-2023 et il est donc possible d'effectuer des comparaisons avec les données de mesure de 2021 dans les mêmes environnements. Le chapitre 3.1.2 présente une analyse des changements temporels du RNI entre 2021 et 2023 dans 75 microenvironnements, 43 espaces publics et de nombreux moyens de transport en commun. Les données ont été collectées entre juillet et décembre dans les mêmes microenvironnements et sur les mêmes itinéraires.
- Pour les mesures spot, les données présentées dans ce rapport annuel concernent 57 sites mesurés entre 2021 et décembre 2023 (chapitre 3.2).
- Premiers résultats concernant les mesures permanentes stationnaires sur cinq sites répartis en Suisse (chapitre 3.3).

Tableau 1: Concept de mesure, quantité et rythme de répétition des campagnes de mesure

Méthode de mesure	Nombre d'unités	2021	2022	2023	2024	2025
Mesures d'itinéraires	300 microenvironnements	25%	50%	50%*	50%*	25%*
Mesures spot/habitat	100 appartements	20%	20%	20%	20%	20%
Mesures permanentes stationnaires	5 sites			100%	100%	100%

*A partir de juillet 2023, il s'agit de mesures répétées à deux ans d'intervalle aux mêmes endroits de la période précédente.

2. Concept et méthodes

Ce chapitre décrit le concept et les méthodes utilisés pour les mesures prévues pour toute la durée du projet, soit cinq ans. Le premier rapport annuel 2021 [2] décrivait de manière très détaillée la méthodologie et le concept. Dans le présent rapport annuel 2023, seuls les éléments les plus importants nécessaires à la compréhension des résultats sont rapportés et l'accent est mis sur les adaptations et les développements ultérieurs du concept de mesure.

2.1 Concept de mesure

Le concept de mesure est pour l'essentiel le même que celui décrit dans le rapport annuel 2021 [2]. Le concept des mesures d'exposition au rayonnement non ionisant documenté dans le présent rapport comprend trois méthodes de mesure complémentaires :

1. "Mesures d'itinéraires"

Les mesures mobiles sont effectuées à l'aide d'appareils portables sur des parcours de mesure définis, les mesures étant répétées tous les deux ans. Les parcours de mesure sont situés dans des "microenvironnements" préalablement sélectionnés. Au total, des mesures sont effectuées dans 300 microenvironnements en Suisse, classés en 11 types (cf. Tableau 6). Au sein de chaque microenvironnement, les mesures sont prises à l'extérieur, ce qui correspond au type de microenvironnement proprement dit (p. ex. centres urbains, zones industrielles), mais aussi dans des espaces publics (p. ex. gares, restaurants, supermarchés, écoles) et lors de déplacements entre les microenvironnements dans de nombreux moyens de transport public (trains régionaux/intercités, trams, bus). Dans la suite de ce document, nous utiliserons le terme général d'"environnement de mesure". Les microenvironnements sont sélectionnés à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG) sur la base de différents critères afin que le total des microenvironnements soit bien représentatif de la population suisse. Par rapport au rapport annuel 2021, les types de microenvironnements sont passés de 9 à 11 et les mesures dans les écoles ont été intégrées dans le concept de mesure.

2. "Mesures spot / d'habitation"

Pendant toute la durée du projet, au moins 100 habitations sont sélectionnées comme "lieux à utilisation sensible" (LUS) se trouvant à proximité d'au moins une source de RNI et dans lesquels on peut donc s'attendre à des intensités de champ supérieures à la moyenne. Cela permet de recenser les situations d'exposition à proximité des sources de RNI concernées, dans des lieux où les personnes séjournent souvent et longtemps. En même temps, ces habitations sont choisies de manière quasi aléatoire par rapport à d'autres sources de RNI et présentent ainsi des situations d'exposition représentatives pour ces sources.

3. "Mesures stationnaires permanentes"

Afin de mettre en évidence les variations saisonnières et journalières ainsi que les tendances temporelles de l'exposition au RNI, des mesures stationnaires permanentes sont effectuées sur cinq sites sélectionnés pendant au moins deux ans (à partir du 1.1.2023).

Les méthodes de mesure et les critères de sélection des lieux de mesure sont décrits ci-dessous. Les mesures saisissent de manière ciblée les parts de rayonnement provenant de l'environnement, mais non celles générées par le propre téléphone mobile. Les opérateurs de téléphonie mobile ne sont pas informés du lieu et du moment où les mesures sont effectuées.

2.2 Instruments de mesure

Pour les mesures, des exposimètres portables avec enregistreur de données intégré de Fields at Work sont utilisés. L'ExpoM-ELF mesure les champs magnétiques à basse fréquence (CM-BF), et l'EXPOM-RF (révision 4) de la dernière génération mesure les champs électromagnétiques à haute fréquence (CEM-HF).

Les appareils de mesure ExpoM (Figure 1) sont compacts et légers et disposent d'un enregistreur GPS intégré. Ils conviennent donc particulièrement aux mesures mobiles. De plus, les mesures spot et les mesures stationnaires effectuées dans le cadre de ce projet peuvent également être réalisées avec ces appareils, ce qui garantit une comparabilité optimale de tous les résultats de mesure.



Figure 1: Appareils de mesure utilisés : ExpoM-ELF (à gauche) et ExpoM-RF 4 (à droite).

Les appareils de mesure de la famille ExpoM sont utilisés dans le monde entier et ont été utilisés ces dernières années pour de nombreuses études et campagnes de mesure en Suisse et à l'étranger.

2.2.1 Spécifications générales de l'appareil

L'ExpoM-ELF est un appareil de mesure de champ magnétique à 3-axes couvrant la gamme de fréquences de DC à 100 kHz et pouvant détecter des intensités de champ magnétique jusqu'à $\pm 1500 \mu\text{T}$ dans la sensibilité standard. Les mesures sont effectuées dans le domaine temporel et contiennent donc le plus haut degré d'information possible. Les évaluations sélectives de bande sont effectuées à l'aide d'un traitement numérique du signal (FFT) a posteriori des mesures dans le domaine temporel.

L'ExpoM-RF 4 est un exposimètre configurable et sélectif de bande pour les champs électromagnétiques haute fréquence de 50 MHz à 6 GHz et enregistre l'intensité de champ électrique en V/m. Trois plages de sensibilité (6, 20 et 50 V/m) sont disponibles. L'appareil mesure de manière sélective dans une bande passante sélectionnable de 35, 75 ou 100 MHz. Il est possible de définir des bandes avec des fréquences centrales au choix dans la plage de mesure spécifiée. L'ExpoM-RF prélève à chaque intervalle de mesure un échantillon des immissions dans toutes les bandes préconfigurées. La valeur efficace (RMS) ainsi que la valeur de Peak (peak) momentanée (maximum) sont déterminées et enregistrées à partir de ces échantillons (d'une durée de mesure d'environ 50 ms chacun).

Les spécifications détaillées des deux appareils sont disponibles sur le site web de Fields at Work (www.fieldsatwork.ch).

2.2.2 Nouvelle version de l'ExpoM-RF-Utility (avril 2023)

En avril 2023, une nouvelle version de l'ExpoM-RF-Utility a été publiée avec une amélioration de l'algorithme de calcul des valeurs d'intensité de champ RMS à partir des données brutes de l'appareil de mesure. Lors de l'étalonnage, les appareils de mesure sont calibrés avec un certain nombre d'intensités de champ de référence. Dans le cas de l'ExpoM-RF, ces intensités de champ de référence sont situées à des intervalles de 5 dB, à partir de 0,0011 V/m. Les points entre ces intensités de champ de référence sont déterminés par calcul. Il s'agit d'une procédure d'interpolation. Les valeurs de mesure déterminées par calcul présentent un certain écart par rapport aux intensités de champ réelles. Ces écarts sont indiqués comme faisant partie de l'incertitude de mesure. Le nouvel algorithme réduit cet écart et assure également une meilleure comparabilité avec les mesures de la version précédente de l'ExpoM-RF.

Le nouvel algorithme entraîne une correction systématique des valeurs de mesure RMS par rapport à la version précédente, entre 5 et 10%. Les écarts de la nouvelle version se situent dans les limites de l'incertitude de mesure initialement estimée. Les valeurs de peak ne sont pas affectées par la mise à jour, car un autre algorithme est utilisé, pour lequel aucune adaptation n'est nécessaire.

2.2.3 Sélection des bandes de fréquences

Pour ce projet, une sélection de 35 bandes de fréquences dans le domaine CEM-HF a été effectuée, couvrant tous les services importants de radiodiffusion, de téléphonie mobile et de télécommunication sans fil, ainsi que les immissions de RNI dues à l'infrastructure. Les 35 bandes de fréquences HF sont étalonnées individuellement pour chaque ExpoM-RF dans la chambre de mesure sans écho (champ lointain). Les bandes de fréquences HF sont présentées dans le Tableau 2 et correspondent dans une large mesure à des services spécifiques. Les explications relatives aux abréviations figurent dans le glossaire (annexe I). L'ExpoM-ELF est étalonné dans une structure spécialement conçue à cet effet. Les principales bandes de fréquences BF sont le courant ferroviaire (16.6 Hz), l'alimentation électrique (50 Hz), et le courant ondulé du tram (300 Hz), ainsi que leurs harmoniques et sont décrites dans le Tableau 3. Le réglage des bandes BF a été révisé en 2022, ce qui explique les légères différences par rapport à la liste figurant dans le rapport 2021. La largeur de bande pour la détection des composantes du courant ferroviaire (bande BF n°2) a été augmentée de 2 Hz à 4 Hz et la largeur de bande des bandes BF voisines 1 et 3 a été réduite en conséquence. Cette adaptation a permis d'éliminer les petits effets de diaphonie des composantes de courant ferroviaire sur les bandes voisines.

Tableau 2: Liste des bandes de fréquences HF.

CEM-HF Bande n	Description	Fréquence centrale en MHz	Largeur de bande en MHz	Catégorie de service
1	Radio FM	97.75	35	broadcast
2	DAB/DAB	202	75	broadcast
3	Polycom / TETRAPOL	385	35	infrastructure
4	TETRAPOL, amateur, ISM 433	422.5	35	ISM, public
5	PMR/PAMR (radio d'entreprise)	452.5	35	infrastructure
6	Broadcasting CH (1)	507.5	75	broadcast
7	Broadcasting CH (2)	583.5	75	broadcast
8	Broadcasting CH (3)	659.5	75	broadcast
9	Mobile 700 UL (CH)	718	35	cellular uplink

CEM-HF Bande n	Description	Fréquence centrale en MHz	Largeur de bande en MHz	Catégorie de service
10	Mobile 700 TDD (CH, Sunrise)	748	35	cellular TDD
11	Mobile 700 DL (CH)	770.5	35	cellular downlink
12	Mobile 800 downlink	808.5	35	cellular downlink
13	Mobile 800 uplink	847	35	cellular uplink
14	Mobile 900 uplink	897.5	35	cellular uplink
15	Mobile 900 downlink	942.5	35	cellular downlink
16	Mobile 1400 SDL (CH)	1479.5	75	cellular downlink
17	Mobile 1800 uplink	1747.5	75	cellular uplink
18	Mobile 1800 downlink	1842.5	75	cellular downlink
19	DECT	1897.5	35	
20	Mobile 2100 uplink	1957	75	cellular uplink
21	Mobile 2100 downlink	2145	75	cellular downlink
22	ISM 2.4 GHz	2438	100	WiFi
23	Mobile 2600 uplink	2535	75	cellular uplink
24	Mobile 2600 TDD (Swisscom)	2592.5	35	cellular TDD
25	Mobile 2600 downlink	2657	75	cellular downlink
26	Mobile 3500 (1)*	3475	100	cellular TDD
27	Mobile 3500 (2)*	3605	100	cellular TDD
28	Mobile 3500 (3)*	3735	100	cellular TDD
29	WiFi 5 GHz (1)	5200	100	WiFi
30	WiFi 5 GHz (2)	5325	100	WiFi
31	WiFi 5 GHz (3)	5450	100	WiFi
32	WiFi 5 GHz (4)	5575	100	WiFi
33	WiFi 5 GHz (5)	5700	100	WiFi
34	WiFi / SRD 5,8 GHz (1)	5825	100	WiFi
35	WiFi / SRD 5,8 GHz (2)	5950	100	WiFi

*Les fréquences centrales et les largeurs de bande ont été choisies de manière à ce que la plage de fréquences de 3400 à 3800 MHz soit représentée sans interruption en tenant compte du crosstalk.

Tableau 3: Liste des bandes de fréquences BF.

Bande CM-BF	Description	Fréquence centrale en Hz	Largeur de bande en Hz	Catégorie de service
1	Bande LF 5 à 14 Hz	9.5	9	
2	Courant ferroviaire (16,7 Hz), 15 à 18 Hz	16.5	4	Transports publics
3	Bande LF 19 à 48 Hz en μ T	33.5	29	Bande intermédiaire non spécifique
4	Tension de réseau AC (50 Hz), 49 à 51 Hz	50	2	Réseau électrique
5	Bande LF 52 à 98 Hz	75	46	Bande intermédiaire non spécifique
6	Tension du réseau premier harmonique, 99 à 101 Hz	100	2	Réseau électrique

Bande CM-BF	Description	Fréquence centrale en Hz	Largeur de bande en Hz	Catégorie de service
7	bande LF 102 à 148 Hz	125	46	Bande intermédiaire non spécifique
8	Tension du réseau deuxième harmonique, 149 à 151 Hz	150	2	Réseau électrique
9	Bande LF 152 à 298 Hz	225	146	Bande intermédiaire non spécifique
10	Courant de tram (DC avec courant d'ondulation, 300 Hz), 299 à 301 Hz	300	2	Transports publics
11	Bande LF 302 à 598 Hz	450	296	Bande intermédiaire non spécifique
12	Courant de tram premier harmonique, 599 à 601	600	2	Transports publics
13	Bande LF 602 à 898 Hz	750	296	Bande intermédiaire non spécifique
14	Courant de tram deuxième harmonique, 899 à 901 Hz	900	2	Transports publics
15	bande LF 902 à 1000 Hz	951	98	Bande intermédiaire non spécifique
16	Bande HF - 1 à 5 kHz	3000	4000	Bloc de fréquence non spécifique
17	Bande HF 5,1 à 10 kHz	7550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
18	Bande HF 10,1 à 15 kHz	12550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
19	Bande HF 15,1 à 20 kHz	17550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
20	Bande HF 20,1 à 25 kHz	22550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
21	Bande HF 25,1 à 30 kHz	27550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
22	Bande HF 30,1 à 35,1 kHz	32600	5000	Bloc de fréquence non spécifique
23	Bande HF 35,1 à 40 kHz	37550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
24	Bande HF 40,1 à 45 kHz	42550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
25	Bande HF 45,1 à 50 kHz	47550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
26	Bande HF 50,1 à 55 kHz	52550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
27	Bande HF 55,1 à 60 kHz	57550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
28	Bande HF 60,1 à 65 kHz	62550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
29	Bande HF 65,1 à 70 kHz	67550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
30	Bande HF 70,1 à 75 kHz	72550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
31	Bande HF 75,1 à 80 kHz	77550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
32	Bande HF 80,1 à 85 kHz	82550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
33	Bande HF 85,1 à 90 kHz	87550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
34	Bande HF 90,1 à 95 kHz	92550	4900	Bloc de fréquence non spécifique
35	Bande HF 95,1 à 100 kHz	97550	4900	Bloc de fréquence non spécifique

2.2.4 Précision et incertitude de mesure

Le tableau suivant énumère les incertitudes de mesure des deux appareils. L'analyse d'incertitude de l'ExpoM-ELF se réfère à la mesure de champs alternatifs, c'est-à-dire que la composante DC n'est pas prise en compte.

Tableau 4: Précision de mesure des instruments de mesure utilisés. Le calcul de l'incertitude combinée tient compte de la répartition des différentes contributions selon les directives GUM établies. [3].

Grandeur d'influence	Description	Distribution	Contribution ExpoM-ELF	Contribution ExpoM-RF
Calibrage	Incertitudes des intensités de champ de référence pendant les mesures d'étalonnage dues à la structure et aux appareils de mesure	Normal	3.7%	10.7%
Réponse en fréquence	Variation des constantes d'étalonnage lors de mesures en dehors des points de fréquence étalonnés	Egal	5.0%	28.3%
Non-linéarité	Variation des constantes d'étalonnage lors de mesures en dehors des valeurs d'amplitude étalonnées / interpolation	Egal	1.0%	5.8%
Anisotropie	Dépendances directionnelles Sensibilité de l'instrument de mesure	Egal	1.0%	49.6%
Résolution	Erreurs numériques d'arrondi et de décalage	Egal	0.5%	3.0%
Température	Incertitude due à la dérive thermique des capteurs et de l'électronique	Egal	2.5%	10%
Répétabilité	Variations aléatoires (bruit)	Normal	0.5%	1.0%
TOTAL	incertitude de mesure combinée (intervalle de confiance de 95%)		3,9% / 0,33 dB	34,1% / 2,6 dB

Tableau 4 montre que l'incertitude de mesure est faible dans le domaine BF. L'écart attendu est de 3,9%. Dans le domaine HF, l'incertitude est nettement plus grande, avec $\pm 34,1\%$. Cela est prévisible du point de vue de la technique de mesure. Il faut souligner que cette incertitude de mesure se rapporte à une seule valeur de mesure. Toutefois, si l'appareil de mesure est déplacé lors d'une mesure d'itinéraire, les incertitudes sur la valeur moyenne pour le microenvironnement correspondant se compenseront en grande partie. Dans le cas idéal, si toutes les erreurs étaient distribuées normalement de manière aléatoire, l'incertitude serait réduite par la racine du nombre de valeurs de mesure. Ainsi, si l'on suppose 150 valeurs de mesure par microenvironnement (intervalle de mesure de 6 secondes pendant 15 minutes), l'incertitude de mesure de la valeur moyenne serait donc idéalement réduite à $\pm 3\%$. En réalité, ce résultat n'est pas atteint, car certaines des contributions aux erreurs ne sont pas indépendantes. Cela concerne surtout la température, l'étalonnage et en partie la réponse en fréquence. L'incertitude réelle de la valeur moyenne par microenvironnement est donc de l'ordre de $\pm 10\%$. Cette plage d'incertitude a été confirmée sur l'ancienne version de l'appareil lors de mesures parallèles sur le terrain [4].

2.2.5 Influence du blindage du corps

Les appareils ExpoM-RF sont calibrés en usine dans la chambre de mesure sans écho en champ libre. L'appareil est alors placé sur une plate-forme isolée indépendante, qui a une influence négligeable sur le champ entrant. Dans la pratique, lors des mesures d'itinéraires, l'appareil de mesure est transporté dans un sac à dos et porté à une distance relativement faible (environ 20 cm) du corps. Ces facteurs peuvent influencer dans une certaine mesure l'intensité de champ électromagnétique mesurée par des effets d'atténuation, d'occultation et de réflexion. L'ampleur de ces effets a été étudiée à l'aide du montage de mesure utilisé dans le projet pour les mesures d'itinéraires et est décrite en détail dans le rapport annuel 2021 [2].

2.2.6 Correction de la diaphonie

La diaphonie décrit le fait qu'un signal émis dans une bande de fréquence A est également enregistré dans une bande de fréquence B voisine. Cet effet peut se produire lorsque les deux bandes de fréquences sont suffisamment proches l'une de l'autre pour que le filtrage des fréquences dans l'appareil de mesure ne puisse pas créer une séparation nette entre les bandes. Cela concerne surtout la séparation entre la Downlink DECT (téléphone sans fil) 1800 MHz et, dans une moindre mesure, les bandes dans la gamme 700 MHz ainsi que la radiodiffusion. La description détaillée de cet effet et la correction correspondante des valeurs mesurées sont présentées dans le rapport annuel 2021 [2]. En résumé, la correction consiste à analyser la corrélation temporelle des deux bandes voisines. Lorsque la corrélation glissante a dépassé un seuil, les valeurs mesurées correspondantes sont remplacées par la valeur la plus basse mesurée dans le voisinage (et non par la valeur médiane, comme indiqué par erreur dans le rapport annuel 2021). On peut supposer que cette valeur la plus basse n'est pas ou peu faussée par le crosstalk.

2.3 Mesures

2.3.1 Mesures d'itinéraires

Les mesures d'itinéraires consistent à effectuer des mesures à pied avec des appareils de mesure installés dans un sac à dos, sur des itinéraires de mesure prédéfinis. Les mesures d'itinéraires sont des mesures de champs électromagnétiques haute fréquence (CEM-HF) et de champs magnétiques basse fréquence (CM-BF) et se composent de trois scénarios ou environnements de mesure :

- **Les microenvironnements** : Les tronçons de mesure sont situés dans des "microenvironnements" (zones d'une superficie comprise entre 0,03 et 0,8 km², définies sur la base de caractéristiques géographiques humaines) qui ont été définis selon la méthode décrite au paragraphe 2.4.2 "Évaluation". Dans chaque microenvironnement, un parcours de mesure (itinéraire) d'environ 1 à 1,3 km est défini, de sorte qu'il faut environ 15 minutes pour marcher. Les parcours de mesure sont disposés de manière à couvrir autant que possible toute la surface du microenvironnement. De plus amples détails sur les mesures dans les microenvironnements sont disponibles dans le rapport annuel 2021 [2].
- **Les espaces publics** : Les mesures d'exposition sont effectuées dans les espaces publics (par exemple, les arrêts de bus, les gares, les écoles) pendant les déplacements entre les différents microenvironnements. Dans ces lieux, les mesures sont également effectuées à pied afin de couvrir le mieux possible l'ensemble du lieu. Dans les restaurants, le sac à dos est posé sur la chaise devant la personne qui effectue les mesures.
- **Transports publics** : l'exposition dans les transports est enregistrée pendant le temps de trajet (par exemple dans les trains, les bus, les trams). Le sac à dos dans les transports publics est déposé sur un siège s'il y a une place libre. S'il n'y a pas de place libre, le sac à dos est posé sur les genoux, ou si la personne qui mesure ne peut pas s'asseoir, la personne qui mesure est debout et porte le sac à dos.

Un protocole d'activité est enregistré à l'aide d'une application pour smartphone. L'application permet de consigner quand et où l'on a commencé et terminé la mesure. Le téléphone portable du technicien

de mesure reste en mode avion pendant toute la mesure. Les coordonnées des différents points de mesure sont enregistrées à l'aide du GPS intégré dans les appareils de mesure.

Le setup pour les mesures d'itinéraires est illustré dans la Figure 2. Deux ExpoM-RF4 (appareil de mesure HF) et un ExpoM-ELF (appareil de mesure BF) sont placés dans une valise remplie de mousse à une distance définie du corps, ce qui minimise les interférences mutuelles. Des éléments en mousse garantissent que la position relative des appareils et la distance par rapport au dos de la personne restent constantes et reproductibles. Les deux ExpoM-RF sont utilisés avec des sensibilités différentes (valeurs de mesure enregistrées jusqu'à 6 V/m ou 20 V/m). Des informations plus détaillées sur la configuration figurent dans le rapport annuel 2021 [2].



Figure 2: Représentation du setup pour les mesures d'itinéraires. À gauche : Trois appareils de mesure (deux ExpoM-RF4 et un ExpoM-ELF) sont fixés dans une valise remplie de mousse synthétique. Centre : La valise est placée dans le sac à dos et fixée avec de la mousse synthétique. À droite : le technicien porte le sac à dos contenant les appareils de mesure à une distance de 20 cm de son corps et à une hauteur de 160 cm.

2.3.2 Mesures spot ou d'habitation

Les mesures d'habitation se composent de trois mesures partielles à chaque lieu de mesure :

- Mesure à court terme : mesure stationnaire pendant 10 min avec un intervalle de mesure de 10 s dans le salon sur un trépied non conducteur ("spot-local"). Les appareils de mesure sont placés à un endroit où les habitants passent régulièrement de longs moments, soit près du canapé, soit près de la table à manger. La position exacte est choisie de manière à ce que l'on puisse s'attendre à une faible atténuation par rapport aux sources externes (p. ex. vue dégagée sur les antennes de téléphonie mobile ou distance minimale par rapport aux lignes à haute tension).
- Mesure mobile : parcourir l'ensemble de l'appartement pendant 10 min avec un intervalle de mesure de 6 s. Les appareils de mesure sont fixés sur un pied d'épaule non conducteur ("spot-area"). La mesure mobile est effectuée en même temps que la mesure fixe. L'intervalle de temps de saisie est alors réparti uniformément sur les pièces disponibles.
- Mesure à long terme : mesure stationnaire pendant 24 h avec un intervalle de mesure de 10 s dans la chambre à coucher, à proximité du lit et à la hauteur du lit ("spot-24h").

Le setup des mesures spot est illustré dans la Figure 3. Pour toutes les mesures partielles, un ExpoM-ELF et un ExpoM-RF (avec le réglage de sensibilité sensible de 6 V/m) sont utilisés en parallèle. Avant

ou entre les mesures, des informations sur le lieu de mesure et les conditions ambiantes sont saisies électroniquement sous forme de métadonnées à l'aide d'une application pour smartphone, voir Tableau 45 en annexe. Le téléphone portable du technicien de mesure est en mode avion pendant toute la durée de la mesure.



Figure 3: Représentation du setup de mesure pour "spot-local" (à gauche), "spot-area" (au milieu) et "spot-24h" (à droite)

2.3.3 Mesures permanentes stationnaires

Pour les mesures stationnaires permanentes, un ExpoM-RF est placé à l'extérieur dans une valise en plastique résistante aux intempéries et relié à un mini-ordinateur par un câble USB. Le mini-ordinateur commande la lecture des données. Une électronique spécialement conçue à cet effet commute entre la lecture des données et la recharge de l'ExpoM-RF. Lors des mesures permanentes stationnaires, les champs électriques sont mesurés conformément à la liste de fréquences SwissNIS figurant dans Tableau 2. On renonce à l'enregistrement des bandes de basse fréquence, car l'évolution temporelle de ces intensités de champ et les flux de courant dans les réseaux ou les lignes de contact sont couplés et suivent ainsi des modèles connus ou sont enregistrés par les exploitants. Les mesures permanentes stationnaires enregistrent des valeurs de mesure pendant 12 heures à un intervalle de 10 secondes. Une fois les 12 h écoulées, les données sont lues, ce qui entraîne une interruption de l'enregistrement des données d'environ 1 min.

La fixation de la mallette est réalisée autant que possible avec des matériaux non conducteurs. Les mini-ordinateurs sont reliés à Internet afin de transférer périodiquement les données de mesure dans la base de données. L'accès à Internet est réalisé autant que possible par câble. Lorsque cela n'est pas possible, on utilise le Wi-Fi ou des modems de téléphonie mobile 4G. Comme les mesures d'intensité de champ sont effectuées de manière sélective en termes de fréquence, les émissions qui se produisent pendant la transmission des données de l'appareil de mesure peuvent être supprimées lors de l'évaluation (Wi-Fi ou bandes Uplink).

Les stations de mesure de Zürich, Allschwil et Aarau utilisent un modem de téléphonie mobile pour le téléchargement des données. Cela entraîne une augmentation de l'intensité de champ mesurée toutes les trois heures sur la bande 23 (Mobile 2600 Uplink) et par crosstalk sur la bande 22 (ISM 2,4 GHz, WLAN). Les contributions à l'intensité de champ causées par le téléchargement de données sont, si possible, entièrement éliminées par un algorithme de filtrage. La zone présentant des pics d'intensité de champ est alors remplacée par la médiane de l'intervalle précédent de cinq minutes.

2.4 Sélection des sites de mesure

Ce chapitre décrit en résumé les procédures de sélection des sites de mesure pour les trois méthodes de mesure : 1. mesures d'itinéraires, 2. mesures spot ou d'habitation, 3. mesures stationnaires permanentes.

2.4.1 Représentativité des mesures d'itinéraires

Figure 4 montre la répartition des 300 microenvironnements mesurés entre 2021 et 2023 dans toute la Suisse.

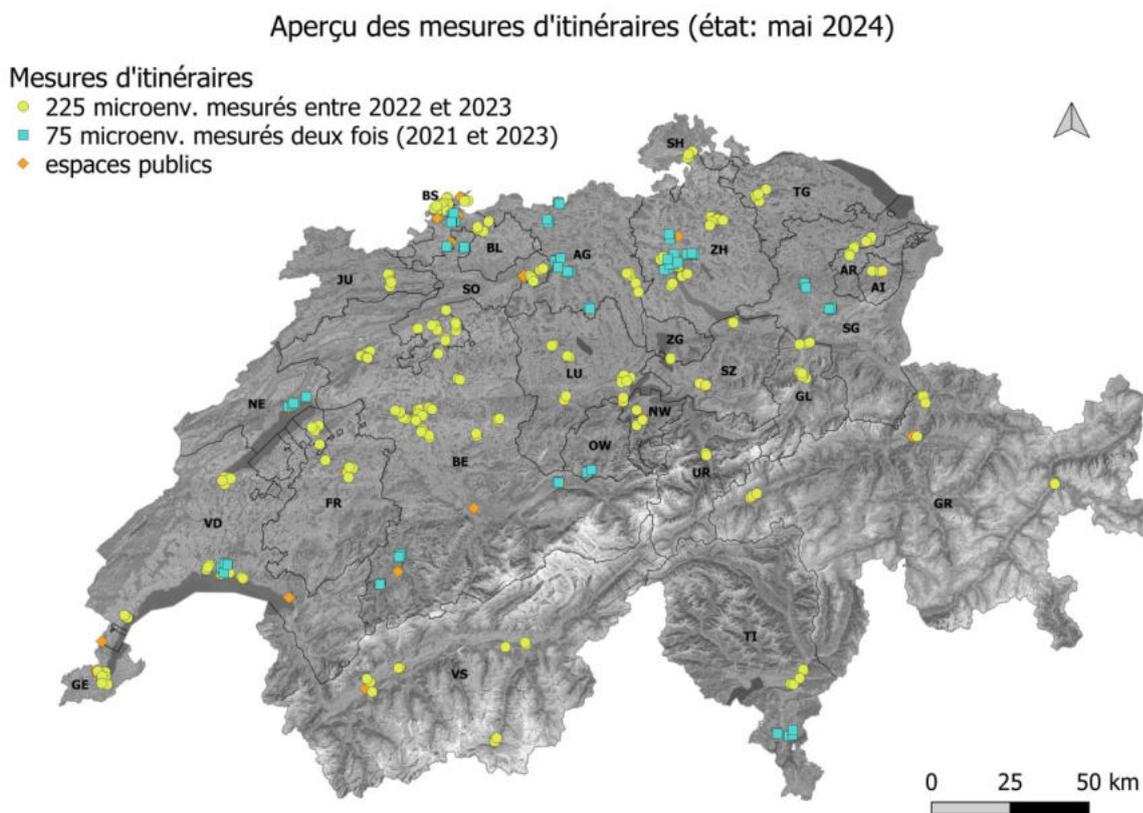


Figure 4: Carte des sites de mesures d'itinéraires (2021-2023). Dans ce rapport, les données de 300 microenvironnements de 2021, 2022, et 2023 sont analysées (points jaunes et carrés bleus). Les mesures d'itinéraires de 2021 ont été répétées en 2023, dont 75 microenvironnements (carrés bleus). Les espaces publics (losange orange) ont été définies en grande partie à l'intérieur ou à proximité de ces microenvironnements. Source de la carte: Hintergrundkarte - Swiss-topo, <https://wmmts.geo.admin.ch>.

La représentativité des 300 microenvironnements par rapport à la population suisse exposée aux sources de RNI est présentée dans le Tableau 5. Le pourcentage de la population suisse vivant dans un rayon donné autour d'une source de RNI est comparé au pourcentage de la population vivant à l'intérieur des microenvironnements dans un rayon donné autour d'une source de RNI dans le Tableau 5. Notre échantillon de 300 microenvironnements est sur-représentatif en termes d'exposition de la population aux antennes de téléphonie mobile (39,2% dans les 300 microenvironnements vs 13,7% en Suisse), car les villes urbaines ont été volontairement plus échantillonnées. Les autres sources de RNI sont équitablement représentées, ainsi que tous les cantons, régions linguistiques, et typologie de communes [5] avec des différences minimales.

Tableau 5: Aperçu des pourcentages de la population résidant à proximité des principales sources de RNI dans toute la Suisse par rapport à la population résidant dans les 300 microenvironnements sélectionnés aux mêmes sources de RNI. (Situation : avril 2023).

Sources RNI	Nombre de personnes vivant à proximité d'une source de RNI	[%]	Nombre de personnes vivant à proximité d'une source de RNI	[%]
	En Suisse		Dans les 300 microenvironnements	
Antenne de téléphonie mobile (rayon compris entre 20 m et 150 m)	1175841	13.7	108724	39.2
Émetteurs radio/TV (rayon entre 200 m et 2 km)	23059	0.3	3238	1.2
Ligne à haute tension 36-150 kV (rayon de 100 m)	166568	1.9	3997	1.4
Ligne à haute tension 200 ou 380kV (rayon de 200 m)	171524	2.0	4343	1.6
Ligne de chemin de fer/tram (rayon de 20 m à 100 m)	828987	9.6	31619	11.4

Lors des mesures dans les espaces publics, le modèle de comportement habituel de la population a été pris en compte dans la mesure du possible. Ainsi, des mesures ont été effectuées dans des restaurants pendant la "pointe de midi" (téléphonie mobile, alimentation électrique) et peuvent donc être considérées comme représentatives. Toutefois, le fait d'utiliser de préférence les transports en commun pour se rendre dans les espaces publics (par exemple les restaurants) situés à proximité des gares n'est pas représentatif. Dans ces environnements de mesure, la part du champ magnétique du courant ferroviaire devrait être proportionnellement plus importante. On peut donc supposer que la charge dans ces espaces publics est quelque peu surestimée.

2.4.2 Mesures d'itinéraires entre 2021 et 2023

Quatre campagnes de mesures d'itinéraires ont été réalisées en 2023 :

1. 27 janv. - 17 fév. 2023
2. 27 avril - 15 mai 2023
3. 19 juil. - 11 août 2023
4. 24 oct. - 16 nov. 2023

Chaque campagne de mesure se compose de 7 à 8 jours de mesure pendant la journée, du lundi au vendredi (sauf jours fériés). Les mesures ont été effectuées entre 07h00 et 20h20.

Dans ce rapport, les données du premier cycle de mesure sont analysées à partir des mesures d'itinéraires avec 300 microenvironnements mesurés entre juillet 2021 et juin 2023. La répartition de ces 300 microenvironnements est illustrée en jaune dans la Figure 4. En 2021, 75 microenvironnements, 53 espaces publics et de nombreux transports publics ont été mesurés. En 2022, 150 microenvironnements, 90 espaces publics et de nombreux transports publics ont été mesurés. Au premier semestre 2023, 75 microenvironnements et 45 espaces publics ont été mesurés dans le cadre du premier cycle de mesure. Au cours du second semestre, le deuxième cycle de mesure a démarré, comprenant 75 microenvironnements et 43 espaces publics. Les mêmes microenvironnements mesurés à la fois en 2021 et 2023 sont représentés en bleu dans la Figure 4. Les mesures ont été répétées sur les mêmes chemins de mesure, à la même heure (± 1 heure) et le même jour de la semaine (± 1 semaine). Les nombreuses mesures effectuées dans les transports en commun en 2021 et 2023 sont comparées

toutes ensemble. Il s'agit en principe des mêmes trajets d'arrivée et de départ vers les environnements de mesure.

Les 300 microenvironnements sont regroupés en 11 types de microenvironnements : 20 centres urbains, 23 quartiers résidentiels centralisés urbains, 34 quartiers résidentiels décentralisés urbains, 36 centres-villes suburbains, 52 quartiers résidentiels suburbains, 29 centres de villages, 39 quartiers résidentiels ruraux, 29 zones industrielles, 13 zones de sport et de loisirs, 16 zones agricoles, et 9 zones naturelles. Dans le rapport annuel 2022 [6] deux types de microenvironnement ont été désignés comme "centre-ville urbain" et "centre-ville rural". Dans le présent rapport annuel, ces types de microenvironnements sont rebaptisés respectivement "centre-ville" et "centre du village". La définition des microenvironnements est présentée dans le Tableau 6. Les nombres de microenvironnements et de espaces publics par commune sont indiqués dans les Tableau 11 resp. Tableau 12.

Tableau 6: Définition, nombre d'échantillons et description des 11 types de microenvironnements en 2023.

Microenvironnement	Nombre (N)	Description
centre-ville	20	Centre de grande ville, typiquement avec des hauteurs de bâtiments élevées (>4 étages)
quartier résidentiel urbain central	23	à proximité d'un centre-ville avec des structures de bâtiments étroites et des hauteurs de bâtiments élevées (> 4 étages)
quartier résidentiel urbain décentral	34	à la périphérie d'un centre-ville, avec une proportion d'espaces verts plus élevée qu'au centre et des bâtiments de hauteur moyenne (2-3 étages)
centre-ville suburbain	36	Centre suburbain, y compris les magasins et les restaurants, avec des bâtiments de 3-4 étages.
quartier résidentiel suburbain	52	Zone résidentielle suburbaine composée principalement d'appartements ou de maisons avec appartements
centre du village	29	Cœur du village, y compris les commerces et les restaurants, avec des bâtiments de 2 à 3 étages.
quartier résidentiel rural	39	Zone résidentielle suburbaine et rurale, composée principalement d'appartements ou de maisons
zone industrielle	29	Bâtiments commerciaux ou de production, indépendamment de la typologie urbaine
zone de sport et de loisirs	13	Parcs urbains et terrains de sport dans les villes
zone agricole	16	Terres cultivées comme les champs ou les vignobles
zone naturelle	9	Forêts, prairies ou réserves naturelles

De même, nous avons regroupé les espaces publics en 10 types d'environnement de mesure. Ceux-ci comprennent, pour le premier cycle de mesure, 56 gares, 37 arrêts de bus, 13 arrêts de tram, 2 aéroports, 19 supermarchés, 40 restaurants, 1 musée, 7 hautes écoles (EPF, UNI, HES) (16 mesures), 9 écoles (28 mesures) et 4 bibliothèques.

Une analyse supplémentaire est effectuée dans les écoles, et celle figurant dans le rapport annuel 2022 [6] est complétée. En 2022 et 2023, des mesures ont été effectuées dans neuf écoles (trois écoles primaires, quatre écoles secondaires, deux gymnases). Dans chaque école, au moins trois situations de mesure différentes sont mesurées pendant 10 à 15 minutes pendant les heures de classe:

- Dans la cour de récréation en dehors de la pause sans élèves*.
- Dans la cour de récréation pendant la pause avec les élèves*.
- Dans les couloirs

Les mesures ne sont pas effectuées dans les salles de classe afin de ne pas perturber le fonctionnement de l'école. Il n'y a que peu de raisons de penser que l'exposition dans les salles de classe diffère sensiblement de celle dans les couloirs. Par ailleurs, d'autres études en cours s'intéressent à la mesure de l'exposition personnelle des élèves* (p. ex. "Effets des immissions des stations de base de téléphonie mobile et des émetteurs radio sur l'état général, le comportement et les capacités cognitives des adolescents : étude de cohorte prospective avec étude de panel embarqué" [7]).

2.4.3 Mesures d'habitations / spots

Pour une sélection représentative des mesures dans les habitations privées, un échantillon aléatoire serait en principe souhaitable. Mais cela aurait l'inconvénient de manquer des situations de forte exposition, qui sont rares, vu le nombre relativement faible de logements sélectionnés. C'est pourquoi une double stratégie est appliquée lors de la sélection. Pour s'assurer que les expositions élevées dues à différents types de sources de RNI sont prises en compte, on recherche de manière ciblée les habitations où l'on peut s'attendre à des intensités de champ supérieures à la moyenne du fait de la proximité spatiale d'une source de RNI (p. ex. proximité d'une ligne de chemin de fer) due à cette source "primaire". Par rapport à d'autres sources de RNI "secondaires", le logement en question est toutefois choisi de manière quasi aléatoire. On peut donc supposer que l'ensemble de l'échantillon des sites de mesure spot, concernant les sources secondaires externes de RNI, est distribué de manière pratiquement représentative de l'exposition de la population résidant dans les microenvironnements avec mesures spot. Dans la mesure du possible, les critères suivants ont été pris en compte lors de la sélection des sites :

- Le site est situé dans un microenvironnement
- A une certaine distance de la source primaire sélectionnée
- Au moins un site dans chaque canton
- Prise en compte des différents types de maisons

Les différents sites ont été sélectionnés de manière ciblée selon les sources suivantes:

Tableau 7: Répartition des sites sélectionnés par rapport à une source primaire de RNI supposée avoir une influence sur la situation d'exposition.

Source primaire	Sous-types (p. ex. puissance d'émission / tension)	Distance [m]	Nombre prévu jusqu'en 2025	Nombre mesuré *)
Téléphonie mobile	Téléphonie mobile	50-150	32	29
Radio/TV	Jusqu'à 10 kW	100	5	2
	>10 à 50 kW	500	3	1
	de 50 à 200 kW	2'000	3	1
Courant électrique	Lignes à très haute tension 220/380 kV	200	7	3
	Lignes à haute tension 36-150kV	100	7	3
	Lignes à haute tension 1-36kV	50	5	5
	Lignes à basse tension 240/400V	20	3	0
	Sous-stations	200	2	0
	Postes de transformation	20	3	1
Chemin de fer	Une seule voie	50	7	4
	Deux voies	100	11	5
	Tunnel à une voie	50	3	1
	Tunnel à deux voies	100	4	1
	Tram	20	5	1
Total			100	57

*) total jusqu'au T1 / 2024 inclus

Pour chaque site, trois à cinq bâtiments sont définis, pour lesquels des contacts sont pris avec les propriétaires. Certains propriétaires ne peuvent pas être joints ou ne souhaitent pas autoriser les mesures dans leurs logements. Pour une vingtaine de points de mesure dans des immeubles collectifs, il est prévu de mesurer à chaque fois sur deux étages. Ainsi, d'ici fin 2025, il en résultera au total environ 120 mesures spot sur 100 sites. Fin mars 2024, 57 mesures spot avaient été effectuées sur 47 sites.

L'information sur le type de maison est tirée du Registre des bâtiments et des logements (RegBL) de l'Office fédéral de la statistique (OFS), sur la base de la catégorie de bâtiment (GKAT; contient des informations sur l'utilisation résidentielle) et de la classe de bâtiment (GKLAS; contient des informations sur la classification des bâtiments) :

- Maison individuelle : bâtiment d'habitation avec un seul appartement
- Immeuble collectif : bâtiment d'habitation comprenant deux logements ou plus
- Utilisation partielle à des fins d'habitation : bâtiments d'habitation avec deux logements ou plus, qui contiennent également des locaux commerciaux selon le RegBL
- Ferme : bâtiment agricole à usage d'habitation

La Figure 5 montre le nombre de mesures réparties par type de maison pour les mesures déjà effectuées (vert), ainsi que le nombre de mesures visé dans chaque cas pour obtenir un échantillon représentatif de la situation de logement de la population suisse (orange) :

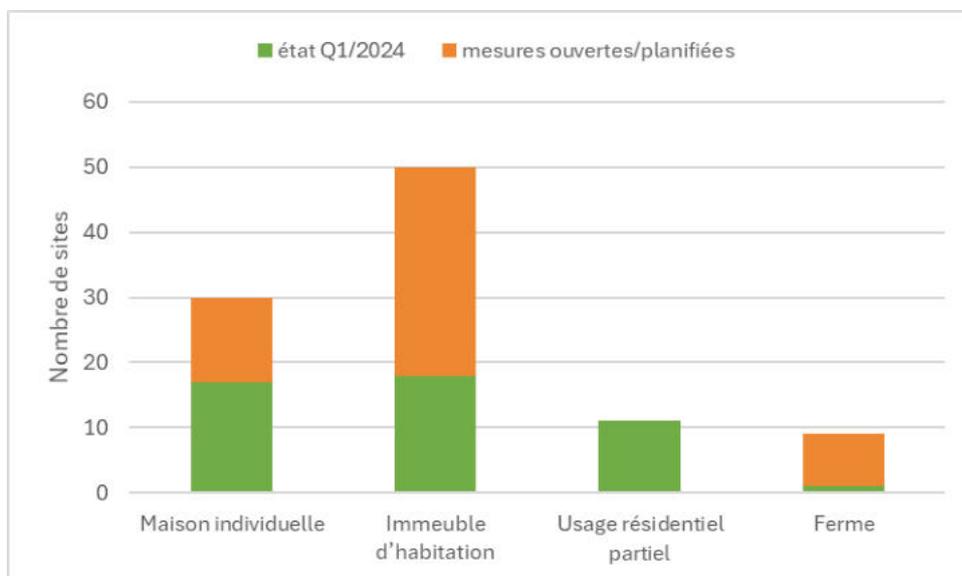


Figure 5 : Répartition des points de mesure spot par type de bâtiment et par état de mesure : déjà réalisé (vert), encore ouvert ou prévu (orange)

Aperçu des mesures spot (état: mars 2024)

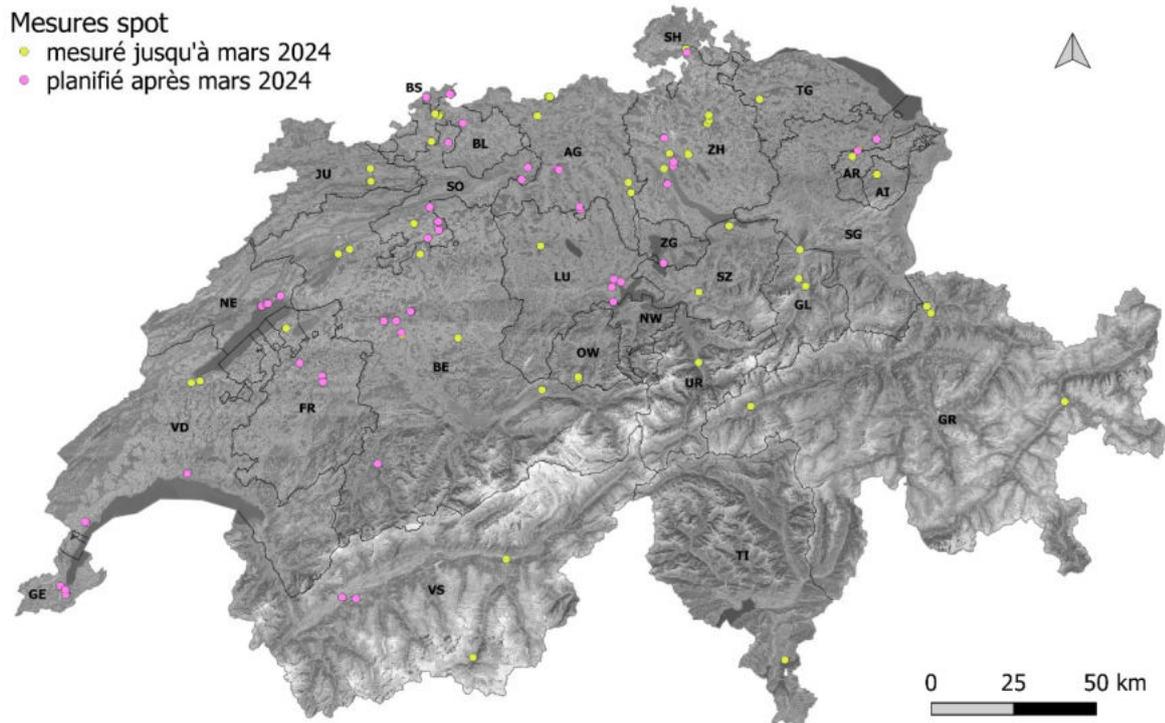


Figure 6 : La répartition des 100 sites de mesures spot qui seront mesurés entre 2021 et 2025 dans toute la Suisse, les sites mesurés jusqu'en mars 2024 étant représentés en jaune et les sites prévus après mars 2024 en rose. Des informations détaillées sur les sites et le type de bâtiment des données disponibles jusqu'à la date d'évaluation peuvent être consultées dans le Tableau 44 en annexe. Source de la carte : Hintergrundkarte - Swisstopo, <https://wmts.geo.admin.ch>

2.4.4 Mesures permanentes stationnaires

Les mesures permanentes stationnaires sont exploitées sur des sites d'entreprises sélectionnés par le consortium du projet afin de pouvoir garantir la sécurité (dommages, accessibilité, effets perturbateurs) et la maintenance (infrastructure, alimentation électrique, connexion Internet). Les sites ont été choisis en fonction des sources de HF à proximité des sites et de la typologie de communes. Les sites de mesure sur lesquels des mesures permanentes stationnaires sont effectuées sont présentés dans le Tableau 8 et dans la Figure 7. Outre les différentes typologies de communes, différentes situations de sources sont également prises en compte : les sites de Deitingen et d'Aarau se caractérisent par la proximité de nombreuses sources HF, les sites d>Allschwil et de Zürich sont dans des zones d'influence d'antennes TV/radio de grande puissance. Pour les sites d>Allschwil, de Zürich et d'Aarau, des espaces publics et des LUS se trouvent à proximité immédiate. De plus, les cinq sites sont situés aussi bien dans des zones à très forte densité de population que dans des zones peu peuplées.

Les cinq stations de mesure sont opérationnelles depuis le 1er janvier 2023 et enregistrent en continu les immissions HF.

Aperçu des mesures permanentes stationnaires

● Station de mesure à long terme

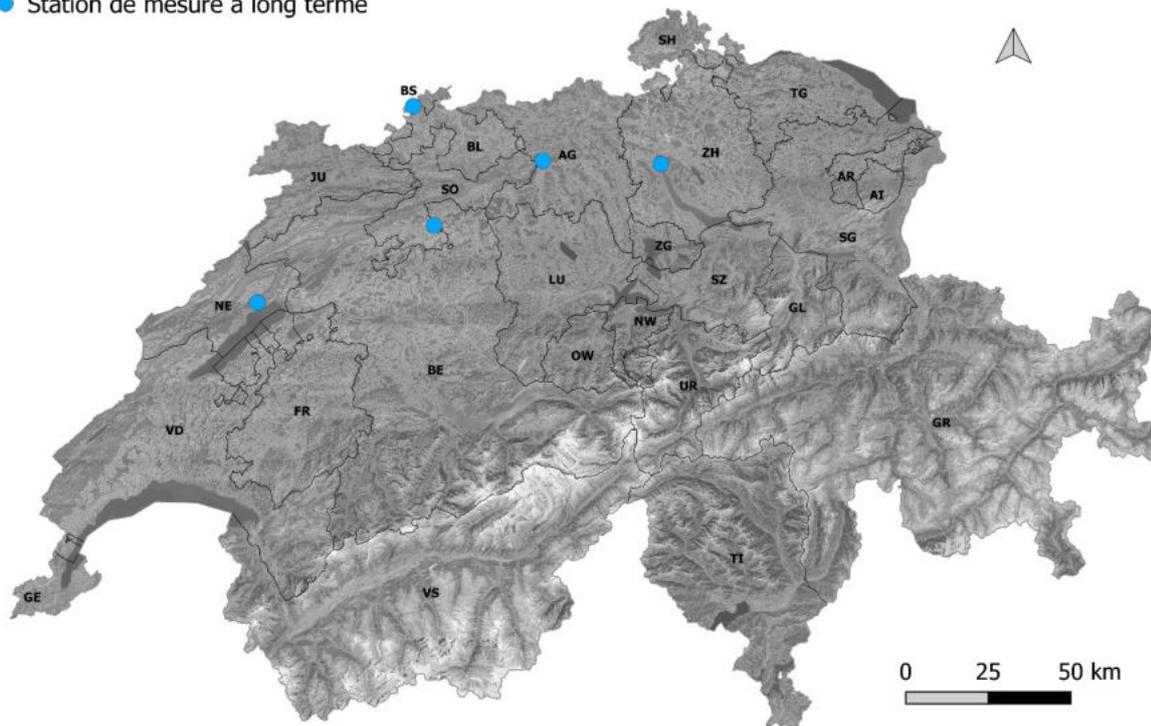


Figure 7 : Carte de la Suisse avec les 5 sites de mesure (points bleus) pour les mesures permanentes stationnaires. Source Hintergrundkarte: Swisstopo, <https://wmts.geo.admin.ch>

Tableau 8: Sites pour les mesures permanentes stationnaires.

Site de mesure	Adresse	Position de l'instrument de mesure	Typologie des communes
Fields at Work - Centre ETH Bâtiment ET	Gloriastrasse 35 8092 Zürich	Sur le toit	Centre-ville
Swiss TPH - Belo Horizonte	Kreuzstrasse 2 4123 Allschwil	Sur le toit	Zone industrielle
G+P - Aarau	Entfelderstrasse 45 5000 Aarau	Sur le toit	Quartier résidentiel central urbain
G+P - Deitingen	Schachenstrasse 5 4543 Deitingen	Terrasse sur le toit	Quartier résidentiel urbain décentralisé
G+P - Neuchâtel	Avenue du Peyrou 8 2000 Neuchâtel	Terrasse sur le toit	Quartier résidentiel urbain centralisé

2.5 Gestion des données

2.5.1 Fichiers de mesure et base de données

Les données brutes générées par les mesures peuvent être classées en deux catégories : Les données de mesure et les métadonnées. Les données de mesure sont saisies au niveau du point de mesure et contiennent les valeurs de mesure BF et HF. Les métadonnées décrivent les caractéristiques de la mesure, comme les informations sur l'appareil ou le site de mesure, et sont collectées au niveau de la

mesure. Pour représenter cela et permettre la sauvegarde, le suivi, la documentation, et l'agrégation des données, les données sont gérées dans une base de données centrale. Comme le montre la Figure 8, les données sont réparties sur trois niveaux :

- Niveau 0 : Stockage des données des fichiers bruts dans un répertoire FTP. Il s'agit d'une part de l'interface d'importation des données de mesure générées par les instruments de mesure et d'autres métadonnées compilées, et d'autre part de la documentation des données brutes originales non modifiées ("raw"). Dans une étape de prétraitement, ces fichiers bruts sont préparés pour chaque mesure (attribution aux mesures, horodatage, signal GPS, etc.) et sont ainsi ("pro") prêts à être importés dans le niveau 1.
- Niveau 1 : stockage de données regroupées et unifiées dans trois tableaux (voir Figure 8: "dataElf", "dataRf" et "metaMeas") d'une base de données MySQL. Après la lecture automatisée du niveau 0, les données de mesure sont préparées et traitées ici (voir section 2.5.2). Ce traitement est effectué par des scripts R externes. Un suivi direct de toutes les opérations sur les données est assuré d'une part par la gestion intégrée des versions, d'autre part par la sauvegarde redondante (pas d'écrasement) des données générées. En plus du traitement automatisé des données, des tests manuels sont effectués pour contrôler la qualité.
- Niveau 2 : niveau d'agrégation de la base de données MySQL. Les données préparées du niveau 1 sont filtrées en fonction des analyses souhaitées et agrégées dans l'espace, dans le temps ou par catégorie, etc. Cela donne la possibilité de générer et de sauvegarder périodiquement des analyses comparatives reproductibles.

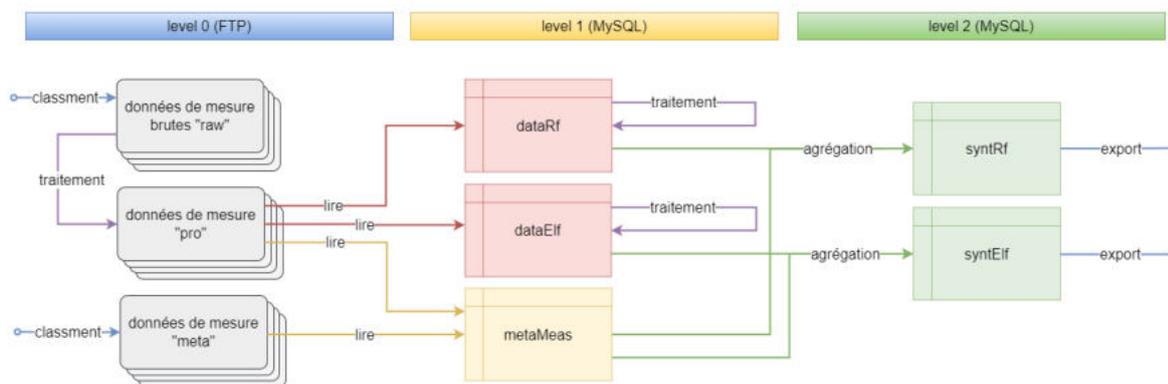


Figure 8: Schéma simplifié de la structure de la base de données.

2.5.2 Préparation des données

La préparation des données et l'analyse des mesures d'itinéraires et de spots sont fondamentalement identiques. Lors des mesures d'itinéraires, les données sont analysées à l'aide du protocole d'activité (cf. section 2.3.1), les données de mesure sont attribuées au bon microenvironnement et stockées en conséquence dans la base de données. Pour les mesures ponctuelles, les données sont attribuées de manière analogue aux trois mesures partielles. Dans un premier temps, on vérifie visuellement la plausibilité des données et on identifie les erreurs dans le déroulement de la mesure (comme par exemple l'interruption du processus de mesure). Ensuite, les éventuelles diaphonies (crosstalk) entre bandes de fréquences voisines sont corrigées à l'aide d'analyses de corrélation selon [8] (pour une description détaillée de la correction de la diaphonie, voir le chapitre 2.2.6). Pour la suite de l'analyse des données,

les bandes sont agrégées en différents groupes de fréquences et additionnées au carré. La définition des groupes de fréquences se fait sur la base de leur application technique ou de leur origine.

Les bandes HF ont été réparties en sept groupes. Les numéros de ces bandes de fréquences fonctionnelles sont indiqués dans le Tableau 2:

- Radiodiffusion : cette catégorie comprend la radio, le DAB, la TV dans les bandes de fréquences 1 à 8.
- Téléphonie mobile Uplink (émissions des terminaux) : Cela correspond aux numéros de bande 9, 13, 14, 17, 20, 23.
- Téléphonie mobile Downlink (émissions des stations de base) : Cela correspond aux numéros de bande 11, 12, 15, 16, 18, 21, 25.
- Téléphonie mobile TDD : les bandes de fréquences TDD (Time Division Duplexing) (743-753 MHz, 2570-2615 MHz et 3500-3800 MHz) utilisées de manière décalée dans le temps pour l'Uplink et le Downlink, constituent un cas particulier. Cela signifie qu'en raison de la fréquence, aucune répartition fonctionnelle en Uplink et Downlink n'est possible. On peut supposer que lors de mesures à l'extérieur (sans téléphone portable personnel), l'exposition est dominée par le Downlink, alors que dans les transports publics et dans les espaces intérieurs accessibles au public, l'Uplink devrait également jouer un rôle important. Cela correspond aux numéros de bande 10, 24, 26, 27, 28.
- WLAN : Les numéros de bande 22 et de 29 à 35.
- Téléphone sans fil (DECT) : le numéro de bande 19.
- CEM-HF totale¹ ($E_{res,i}$): Somme quadratique de toutes les bandes mesurées :

$$E_{res,i} = \sqrt{\sum_{f \in \{1, \dots, 35\}} E_{f,i}^2} \quad (1)$$

Où

- $E_{f,i}$ représente une valeur HF de l'intensité de champ électrique au point i avec la bande de fréquence numéro f ;
- $E_{res,i}$ représente la résultante de l'intensité de champ électrique au point i .

¹ Il convient de noter que cette forme de calcul de la moyenne n'est physiquement pertinente que pour les valeurs efficaces (RMS). Pour simplifier la présentation, nous utiliserons néanmoins la même méthode pour calculer les sommes ou les moyennes des valeurs de Peak. Cependant, les valeurs de Peak de différentes fréquences apparaissent en général à différents moments au cours d'un intervalle de mesure. Cela signifie d'une part que la somme des valeurs de Peak pour différentes fréquences conduit à une surestimation des valeurs de Peak. D'autre part, il convient de noter que pendant un intervalle de mesure de six secondes, toutes les bandes de fréquence sont balayées les unes après les autres. Ainsi, des Peak de courte durée peuvent être manqués, ce qui contribue à une sous-estimation des valeurs de Peak. La procédure choisie a l'avantage de constituer une mesure robuste qui reflète de manière pertinente la dynamique temporelle typique entre la valeur moyenne et les valeurs de crête (facteur dit de Peak).

Pour les champs magnétiques à basse fréquence, le regroupement de fréquences suivant est effectué (numéros de bande selon Tableau 3) :

- Courant ferroviaire : la bande principale correspond à la bande numéro 2 et l'harmonique se trouve à l'intérieur de la bande numéro 3. On a renoncé à créer une bande spécifique pour l'harmonique, car son amplitude était négligeable lors des mesures de test.
- Courant domestique : la bande principale correspond à la bande numéro 4 et les harmoniques sont les bandes numéro 6 et 8.
- Courant ondulé Tram (courant triphasé redressé) : la bande principale correspond au numéro de bande 10 et les harmoniques sont les numéros de bande 12 et 14.
- Total CM-BF ($B_{res,i}$): Cela correspond à la somme quadratique des trois groupes de bandes précédents, c'est-à-dire sans tenir compte des bandes intermédiaires non spécifiques :

$$B_{res,i} = \sqrt{\sum_{f \in \{2,4,6,8,10,12,14\}} B_{f,i}^2} \quad (2)$$

où

- $B_{f,i}$ représente une valeur BF de la densité de flux magnétique au point i avec la bande de fréquences numéro f ;
- $B_{res,i}$ représente la résultante de la densité de flux magnétique au point i .

2.5.3 Statistiques descriptives

Pour les mesures HF, l'analyse des données est effectuée à la fois pour les valeurs RMS et les valeurs de Peak, ainsi que séparément pour chaque bande de fréquence fonctionnelle. Pour les mesures BF, les valeurs RMS sont mesurées et analysées. Etant donné que les paramètres d'exposition les plus pertinents sur le plan biologique ne sont pas connus, une multitude de mesures d'exposition possibles sont évaluées. Toutes les données sont agrégées par type d'environnement de mesure ou par source primaire et la distribution des mesures est montrée avec des boxplots pour les valeurs HF (RMS et Peak) et les valeurs BF (RMS). Les statistiques cumulatives suivantes sont calculées pour les données agrégées par type d'environnement de mesure : Minimum, maximum, différents percentiles (05e, 25e, 50e (médiane), 75e, 95e), moyennes arithmétiques et quadratiques. La moyenne arithmétique et la moyenne quadratique (RMS) pour les valeurs HF ainsi que pour les valeurs BF sont calculées selon les équations (3), (4), (5) et (6).

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_i^n E_{res,i} \quad (3)$$

$$E^{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n E_{res,i}^2} \quad (4)$$

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_i^n B_{res,i} \quad (5)$$

$$B^{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n B_{res,i}^2} \quad (6)$$

où

- n représente le nombre de données collectées dans l'environnement de mesure ;
- $E_{res,i}$ représente la résultante de l'intensité de champ électrique au point i ;
- \bar{E} est la valeur moyenne arithmétique de l'intensité de champ électrique dans l'environnement de mesure ;
- E^{RMS} est la valeur moyenne quadratique de l'intensité de champ électrique dans l'environnement de mesure ;
- $B_{res,i}$ représente la résultante de la densité de flux magnétique au point i ;
- \bar{B} est la valeur moyenne arithmétique de la densité de flux magnétique dans l'environnement de mesure ;
- B^{RMS} est la valeur moyenne quadratique de la densité de flux magnétique dans l'environnement de mesure ;

La contribution moyenne des sources pour un groupe de fréquences donné est déterminée comme suit :

$$prop_{HF\ Quelle} = \frac{\frac{1}{n} \sum_i^n E_{HF\ Quelle,i}^2}{E^{RMS^2}} \quad (7)$$

$$prop_{NF\ Quelle} = \frac{\frac{1}{n} \sum_i^n B_{NF\ Quelle,i}^2}{B^{RMS^2}} \quad (8)$$

où

- n représente le nombre de données collectées dans l'environnement de mesure ;
- E^{RMS} est la valeur moyenne quadratique de l'intensité de champ électrique dans l'environnement de mesure ;

- $E_{HF\ Quelle,i}$ désigne la résultante de l'intensité de champ électrique correspondant au groupe de fréquences défini au chapitre 2.4.2 (par ex. Downlink, Uplink, TDD, radiodiffusion, WLAN, DECT) ;
- $prop_{HF\ Quelle}$ est la contribution moyenne du groupe de fréquences HF au champ électrique total dans un environnement de mesure ;
- B^{RMS} est la valeur moyenne quadratique de la densité de flux magnétique dans l'environnement de mesure ;
- $B_{NF\ Quelle,i}$ désigne la résultante de la densité de flux magnétique correspondant au groupe de fréquences défini au chapitre 2.4.2 (par ex. courant ferroviaire, alimentation électrique, courant ondulé des trams) ;
- $prop_{BF\ Quelle}$ est la contribution moyenne du groupe de fréquences BF à la densité de flux magnétique totale dans un environnement de mesure ;

En plus des analyses descriptives par type d'environnement de mesure/source primaire, la moyenne quadratique de l'intensité de champ électrique selon l'équation (4) et la moyenne arithmétique de la densité de flux magnétique selon l'équation (5) ont également été calculées pour chaque environnement de mesure/source primaire. Parmi les N environnements de mesure du même type, on représente ensuite le minimum, le maximum et la moyenne arithmétique de la valeur moyenne quadratique de l'intensité de champ électrique (9) et la moyenne arithmétique de la valeur moyenne de la densité de flux magnétique (10).

$$\overline{E_{ME}} = \frac{1}{N_{tot}} \sum_{N=1}^{N_{tot}} E_N^{RMS} \quad (9)$$

$$\overline{B_{ME}} = \frac{1}{N_{tot}} \sum_{N=1}^{N_{tot}} \overline{B}_N \quad (10)$$

où

- N_{tot} est le nombre d'environnements de mesure du même type ;
- E_N^{RMS} est la valeur moyenne quadratique de l'intensité de champ électrique dans l'environnement de mesure N
- $\overline{E_{ME}}$ est la moyenne arithmétique des E_N^{RMS} d'un type d'environnement de mesure (ME) ;
- \overline{B}_N est la valeur moyenne arithmétique de la densité de flux magnétique dans l'environnement de mesure N
- $\overline{B_{ME}}$ est la moyenne arithmétique des \overline{B}_N d'un type d'environnement de mesure (ME) ;

3. Résultats

3.1 Mesures d'itinéraires

Le chapitre 3.1.1 présente les résultats du "premier cycle de mesures des itinéraires" (300 microenvironnements, 188 espaces publics et 328 moyens de transport) mesurés entre juillet 2021 et juin 2023. Outre l'aperçu général de tous les lieux de mesure, une comparaison des mesures avec les valeurs limites d'immissions (VLI) est effectuée ainsi qu'une analyse plus détaillée pour les écoles. Une comparaison de l'exposition au RNI entre 2021 et 2023 dans les mêmes environnements de mesure est présentée au chapitre 3.1.2.

3.1.1 Analyse du premier cycle de mesure des itinéraires

3.1.1.1 Aperçu général - Exposition aux HF

Figure 9 et Figure 10 montrent la distribution de l'exposition pour le premier cycle de mesure des itinéraires dans les différents microenvironnements, espaces publics et moyens de transport. Sur le côté gauche, la distribution des valeurs RMS ou des valeurs de Peak par type d'environnement de mesure est représentée sous forme de boxplot. Sur le côté droit, les contributions relatives moyennes des six sources HF sont colorées : Downlink (orange), Uplink (bleu foncé), Time Division Duplex TDD (violet), Radio (vert), WLAN (bleu clair), DECT (rouge).

Dans les *microenvironnements*, les valeurs médianes les plus élevées ont été mesurées dans les zones industrielles (RMS : 0,30 V/m, Peak : 1,67 V/m), suivies par les centres-villes (RMS : 0,24 V/m, Peak : 1,22 V/m) et les quartiers résidentiels urbains centraux (RMS : 0,20 V/m : Peak : 1,02 V/m). Les valeurs médianes diminuent à mesure que l'urbanisation diminue. Les valeurs médianes les plus basses ont été mesurées dans les centres des villages (RMS : 0,09 V/m : Peak : 0,36 V/m) et dans les zones naturelles (RMS : 0,07 V/m : Peak : 0,23 V/m). *Dans les espaces publics*, les valeurs médianes sont les plus élevées aux aéroports (RMS : 0,48 V/m, Peak : 2,19 V/m), aux arrêts de tram (RMS : 0,39 V/m, Peak : 2,15 V/m) et aux arrêts de bus (RMS : 0,32 V/m, Peak : 1,65 V/m), notamment parce que ces endroits se trouvent à l'extérieur. En revanche, les valeurs médianes dans les supermarchés (RMS : 0,08 V/m, Peak : 0,56 V/m) et les écoles (RMS : 0,09 V/m, Peak : 0,43 V/m) sont relativement faibles, car ils se trouvent dans des espaces fermés. En ce qui concerne les *transports en commun*, les valeurs RMS et les valeurs de Peak médianes sont similaires dans le métro, le tram et les trains (RMS : 0,22-0,24 V/m, Peak : 1,33-1,55 V/m).

Dans la plupart des types d'environnement de mesure, la plus grande partie des sources de CEM-HF provient du Downlink (RMS : 58-98%, Peak : 49-96%). Le Downlink a une part relativement élevée dans le métro (RMS : 59%, Peak : 57%) et les trains (RMS : 40 %, Peak : 34%). La contribution du WLAN est la plus élevée dans le métro (RMS : 21%, Peak : 26%), les bibliothèques (RMS : 16%, Peak : 53%), les trains (RMS : 14%, Peak : 20%) et les supermarchés (RMS : 13%, Peak : 51%), avec un pourcentage le plus élevé pour les valeurs de Peak dans la bibliothèque. Le Time Division Duplex (TDD), lié à la 5G, a généralement une contribution relativement faible dans tous les microenvironnements. Les contributions TDD les plus élevées ont été constatées dans les moyens de transport, les zones industrielles, les arrêts de tram, les gares et les écoles. Alors que la contribution TDD aux valeurs RMS est faible (<7%), elle est nettement plus élevée pour les valeurs de Peak (19-29%), ce qui reflète la dynamique plus élevée de la technologie de téléphonie mobile 5G. Les DECT (téléphones

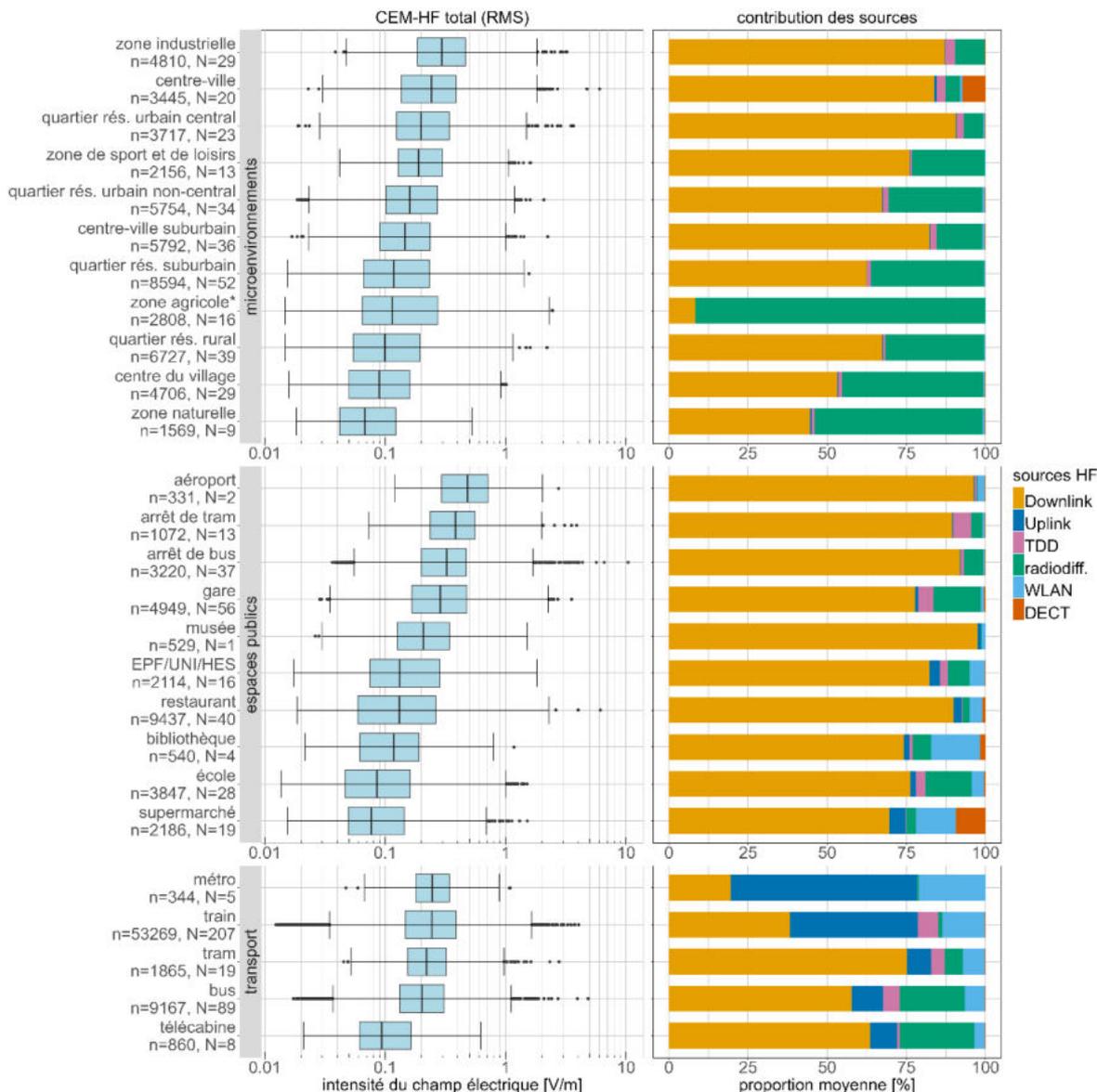


Figure 9 : A gauche : Distribution des mesures RMS CEM-HF pour le "premier cycle de mesures des itinéraires" par type d'environnement. La ligne médiane, les boîtes, les "whiskers" et les points indiquent respectivement la médiane, les 25e et 75e percentiles, 1,5 fois l'écart interquartile (1,5*IQR) et les valeurs extrêmes. A droite : la contribution moyenne des sources pour chaque type d'environnement. Les groupes de bandes de fréquences suivants sont pris en compte : Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), diffusion, WLAN et téléphones sans fil (DECT). "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure du même type. Les données statistiques et les contributions des sources sont présentées dans le Tableau 13, resp. Tableau 14.

*Zone agricole : sur les 16 zones agricoles mesurées, trois zones ont été mesurées au sol près d'un émetteur de radiodiffusion d'une puissance comprise entre 300 W et 181 kW. Toutes les valeurs statistiques sont de deux à huit fois plus importantes pour les zones agricoles avec un émetteur de radiodiffusion que pour les zones agricoles sans antenne. Par exemple, la valeur médiane (RMS) pour les zones agricoles sans émetteur de radiodiffusion est de 0,11 V/m et de 0,79 V/m pour les zones agricoles avec émetteur de radiodiffusion. La contribution à la radiodiffusion (RMS) dans les zones agricoles est de 42% sans antenne, et de 100% avec antenne. L'exposition moyenne dans les zones agricoles sans émetteur de radiodiffusion, avec 0,15 V/m et 1,07 V/m, était également six fois plus faible qu'au sol avec un émetteur de radiodiffusion. Dans le rapport annuel 2022 [6], les résultats des mesures pour les zones agricoles avec et sans émetteur de radiodiffusion sont présentés séparément.

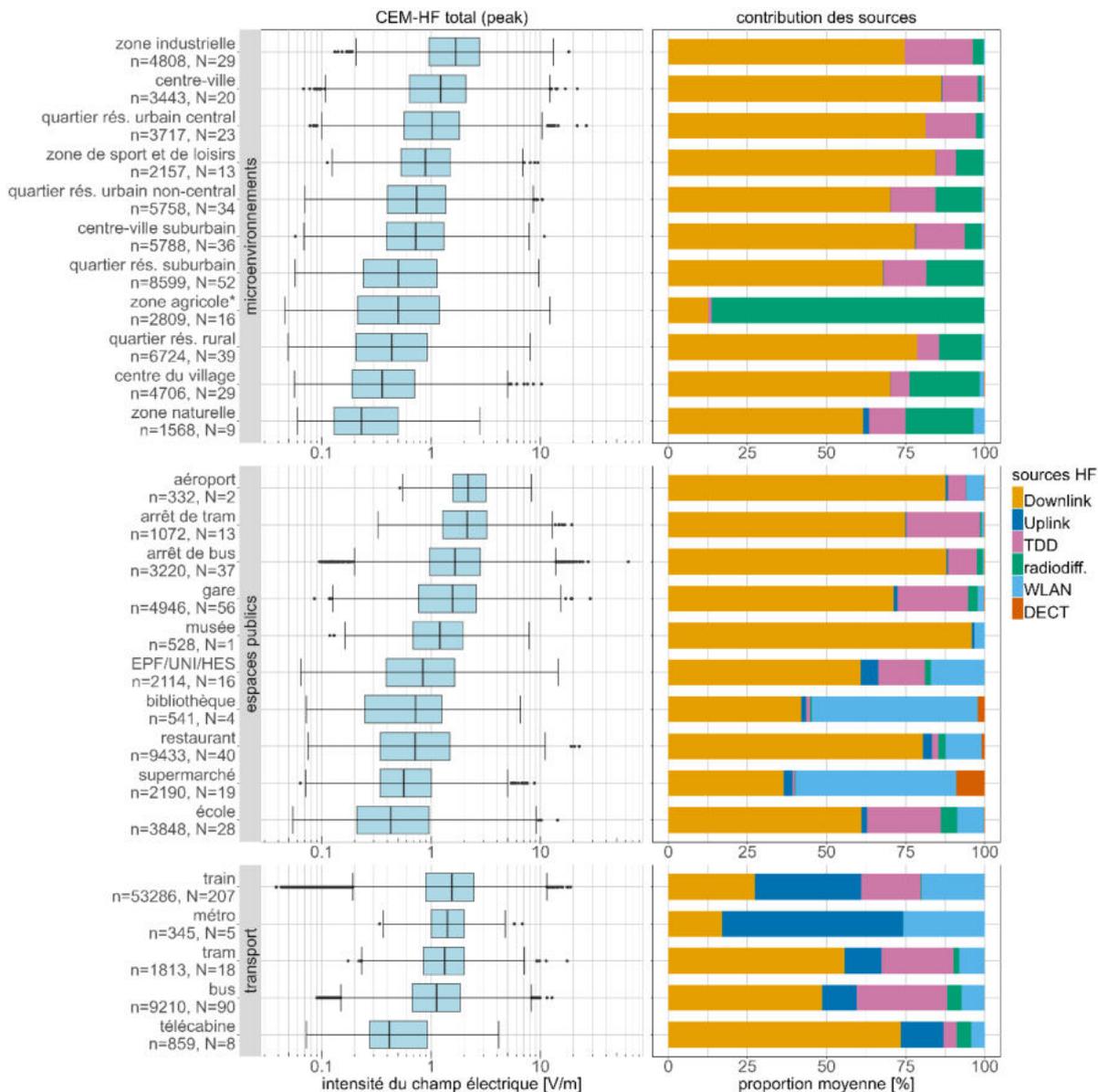


Figure 10 : A gauche : Distribution des valeurs de mesure CEM-HF de Peak pour le "premier cycle de mesures des itinéraires" par type d'environnement. La ligne médiane, les boîtes, les "whiskers" et les points indiquent respectivement la médiane, les 25e et 75e percentiles, 1,5 fois l'écart interquartile (1,5*IQR) et les valeurs extrêmes. A droite : la contribution moyenne des sources pour chaque type d'environnement. Les groupes de bandes de fréquences suivants sont pris en compte : Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), diffusion, WLAN et téléphones sans fil (DECT). "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les données statistiques et les contributions des sources sont présentées dans le Tableau 15 resp. Tableau 16. *voir la légende de la figure 9.

sans fil) sont en moyenne faibles (<1%) dans tous les environnements de mesure, sauf dans les centres-villes (RMS : 7%, Peak : 0,1%) et les supermarchés (RMS : 9%, Peak : 9%). La part relative de la radiodiffusion, principalement le Digital Audio Broadcasting (DAB) et la modulation de fréquence (FM), domine dans les centres de village (RMS : 45%, Peak : 22%) - mais ici en raison de la faible contribution absolue de l'exposition au Downlink - et dans les zones agricoles (RMS : 92%, Peak : 86%). La contribution élevée de la radiodiffusion dans les zones agricoles est due à trois zones à forte exposition à la radiodiffusion, et expliqué plus en détail dans la légende de la Figure 9.

La Figure 11 et la Figure 12 montrent les distributions de l'exposition moyenne par microenvironnement pour les valeurs RMS et les valeurs de Peak par type d'environnement pour le premier cycle de mesure. Le minimum (carré bleu) et le maximum (triangle rouge) indiquent respectivement les valeurs moyennes les plus basses et les plus hautes par environnement de mesure unique. La moyenne des valeurs RMS (losange noir) est calculée selon l'équation (9).

Les valeurs moyennes par *microenvironnement* présentent un profil similaire à celui des valeurs médianes de la Figure 9 et de la Figure 10. L'exposition moyenne est la plus élevée dans les zones industrielles (RMS : 0,42 V/m, Peak : 2,53 V/m) et les centres-villes (RMS : 0,42 V/m, Peak : 2,23 V/m). La valeur moyenne maximale d'un microenvironnement a été mesurée dans une zone agricole avec un émetteur radio (RMS : 1,26 V/m, Peak : 5,71 V/m). Dans les *espaces publics*, l'exposition moyenne est la plus élevée dans les aéroports (RMS : 0,64 V/m, Peak : 2,78 V/m) et aux arrêts de tram (RMS : 0,51 V/m, Peak : 3,12 V/m). Dans les *transports publics*, l'exposition moyenne est la plus élevée dans les trains (RMS : 0,34 V/m, Peak : 2,12 V/m). La valeur moyenne maximale de toutes les mesures dans les espaces publics - ainsi que dans l'ensemble - a été mesurée à un arrêt de bus (RMS : 2.09 V/m, Peak : 12.38 V/m).

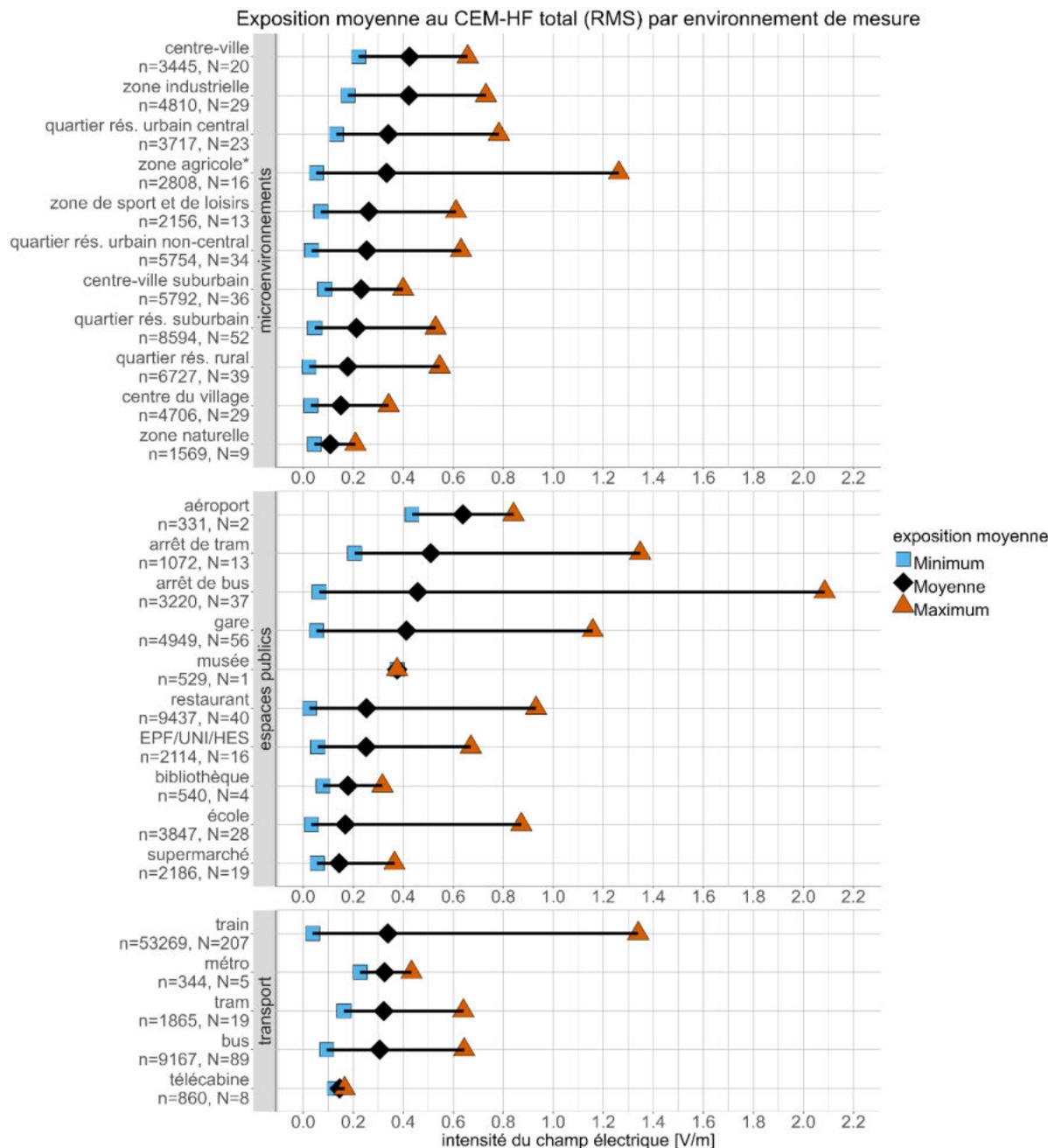


Figure 11: Plage de la charge moyenne des mesures RMS CEM-HF des différents environnements pour le premier cycle de mesure. La valeur moyenne de la valeur efficace (losange noir) est calculée selon l'équation (9). Le minimum (carré bleu) et le maximum (triangle rouge) indiquent respectivement la valeur RMS la plus basse et la plus élevée par environnement de mesure individuel. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les données sont présentées dans le Tableau 17. * voir la légende de la Figure 9.

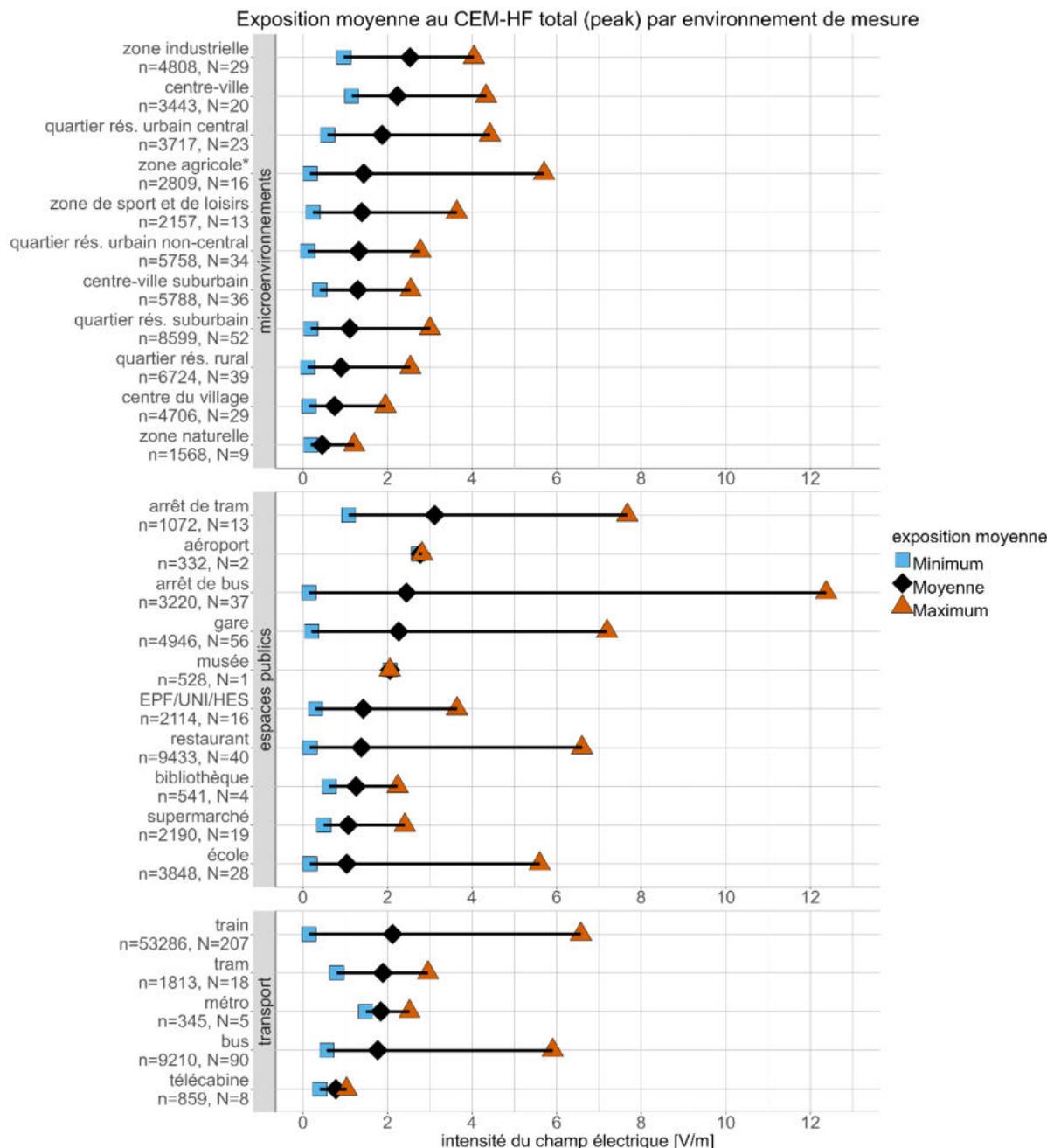


Figure 12: Plage de la charge moyenne des mesures CEM-HF de Peak des différents environnements pour le premier cycle de mesure. La valeur moyenne de la valeur efficace (losange noir) est calculée selon l'équation (9). Le minimum (carré bleu) et le maximum (triangle rouge) indiquent respectivement la valeur RMS la plus basse et la plus élevée par environnement de mesure individuel. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les données sont présentées dans le Tableau 18. * voir la légende de la Figure 9.

3.1.1.2 Aperçu général - Exposition aux BF

La Figure 13 montre, sur le côté gauche, sous forme de boxplot, la distribution des valeurs RMS par type d'environnement pour le premier cycle de mesure des itinéraires dans les différents microenvironnements, espaces publics et moyens de transport. Sur le côté droit, les contributions relatives moyennes des trois principales sources de champs magnétiques basse fréquence sont colorées : Courant ferroviaire (jaune), alimentation électrique (rose) et courant ondulé des trams (violet).

Dans les *microenvironnements*, les valeurs médianes CM-BF les plus élevées ont été mesurées dans les centres-villes (0,19 μ T), suivis par les quartiers résidentiels urbains centralisés (0,18 μ T) et décentralisés (0,14 μ T). Les valeurs médianes ont tendance à diminuer à mesure que l'urbanisation diminue. Les valeurs médianes les plus faibles ont été mesurées dans les zones agricoles et les zones de sport et de loisirs (0,03 μ T) ainsi que dans les zones naturelles (0,02 μ T). Dans les *espaces publics*, les valeurs médianes sont les plus élevées dans les gares (0,38 μ T) et les arrêts de tram (0,22 μ T), tandis que les valeurs médianes sont relativement faibles dans les écoles (0,04 μ T), les bibliothèques (0,03 μ T) et les aéroports (0,02 μ T). En ce qui concerne les *transports en commun*, les valeurs médianes sont les plus élevées dans les trains (0,44 μ T), suivis des trams (0,17 μ T).

La contribution de l'électricité est dominante dans tous les *microenvironnements* (60-97%), à l'exception des zones naturelles (9%). La contribution du courant ferroviaire est la plus élevée dans les trains (100%), les gares (99%), et les arrêts de bus (82%), en raison de la proximité des lignes de courant ferroviaire. La contribution du courant d'ondulation des trams est de 28% dans les trams et de 44% aux arrêts de tram.

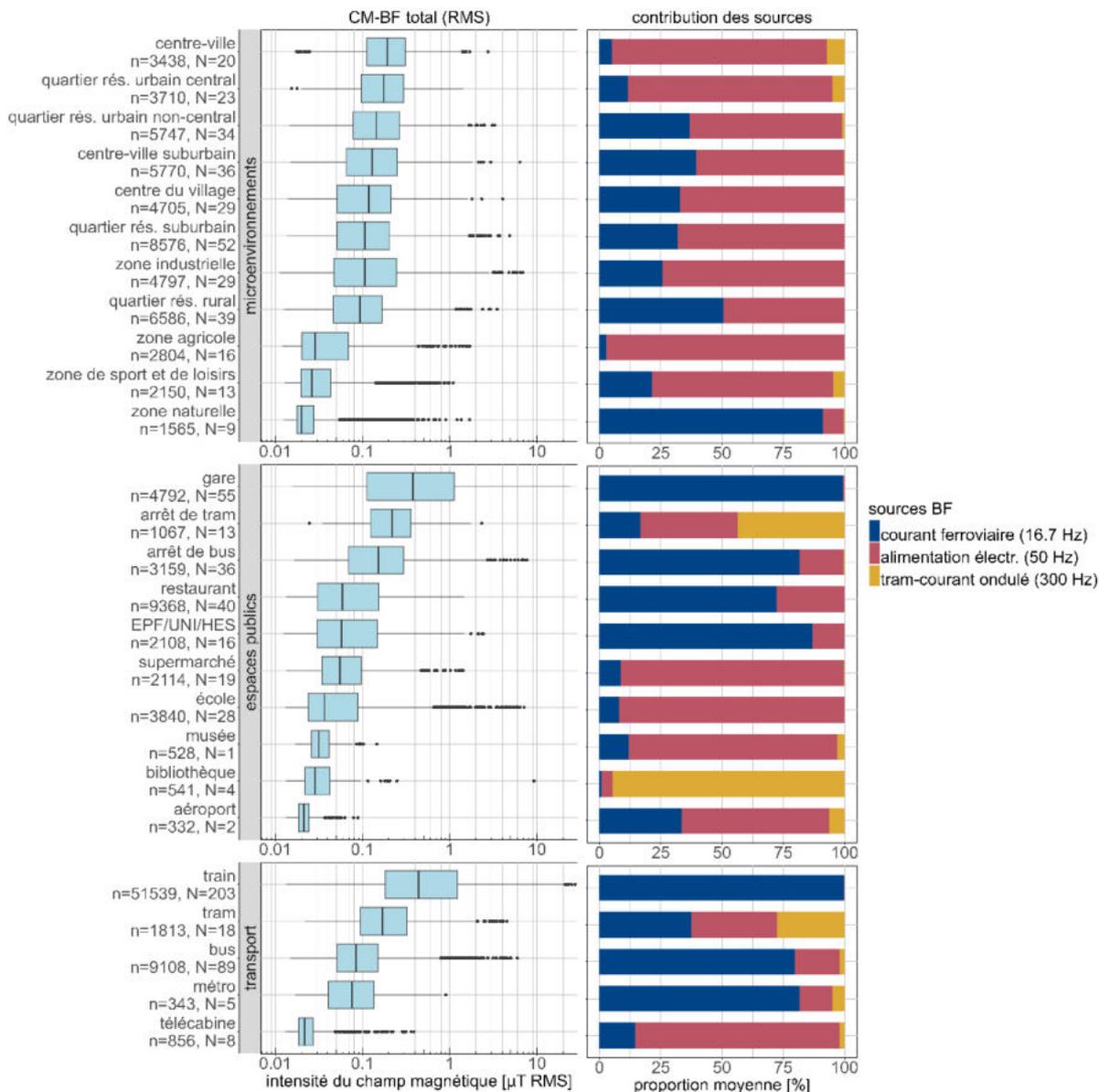


Figure 13: A gauche : Distribution des mesures CM-BF pour le "premier cycle de mesures des itinéraires" par type d'environnement. La ligne médiane, les boîtes, les "whiskers" et les points indiquent respectivement la médiane, les 25e et 75e percentiles, 1,5 fois l'écart interquartile ($1,5 \cdot \text{IQR}$) et les valeurs extrêmes. A droite : la contribution moyenne des sources pour chaque type d'environnement. Les groupes de bandes de fréquences suivants sont pris en compte : Courant ferroviaire (16,7 Hz), alimentation électrique (50 Hz), et courant ondulé du tram (300 Hz) avec leurs harmoniques respectives. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les données statistiques et les contributions des sources sont présentées dans le Tableau 19 resp. Tableau 20.

La Figure 14 montre les distributions de la charge moyenne de l'exposition totale aux BF par type d'environnement pour le premier cycle de mesure. Le minimum (carré bleu) et le maximum (triangle rouge) indiquent respectivement la valeur moyenne la plus basse et la plus élevée par environnement de mesure individuel. La moyenne des valeurs moyennes (losange noir) est calculée selon l'équation (10).

En général, le même profil d'exposition est observé pour les valeurs moyennes par environnement de mesure comme dans Figure 13 pour les valeurs médianes. Dans les *microenvironnements*, l'exposition moyenne la plus élevée a été mesurée dans les centres-villes (0,24 μT). L'exposition maximale se trouve dans une zone industrielle (1,48 μT) à proximité d'une centrale électrique. Dans les *espaces publics*, l'exposition moyenne la plus élevée a été mesurée dans les gares (1,05 μT), la charge moyenne maximale atteignant 7,20 μT . Dans les *transports publics*, l'exposition moyenne la plus élevée a été mesurée dans les trains (1,18 μT), l'exposition moyenne maximale s'étendant jusqu'à 8,99 μT .

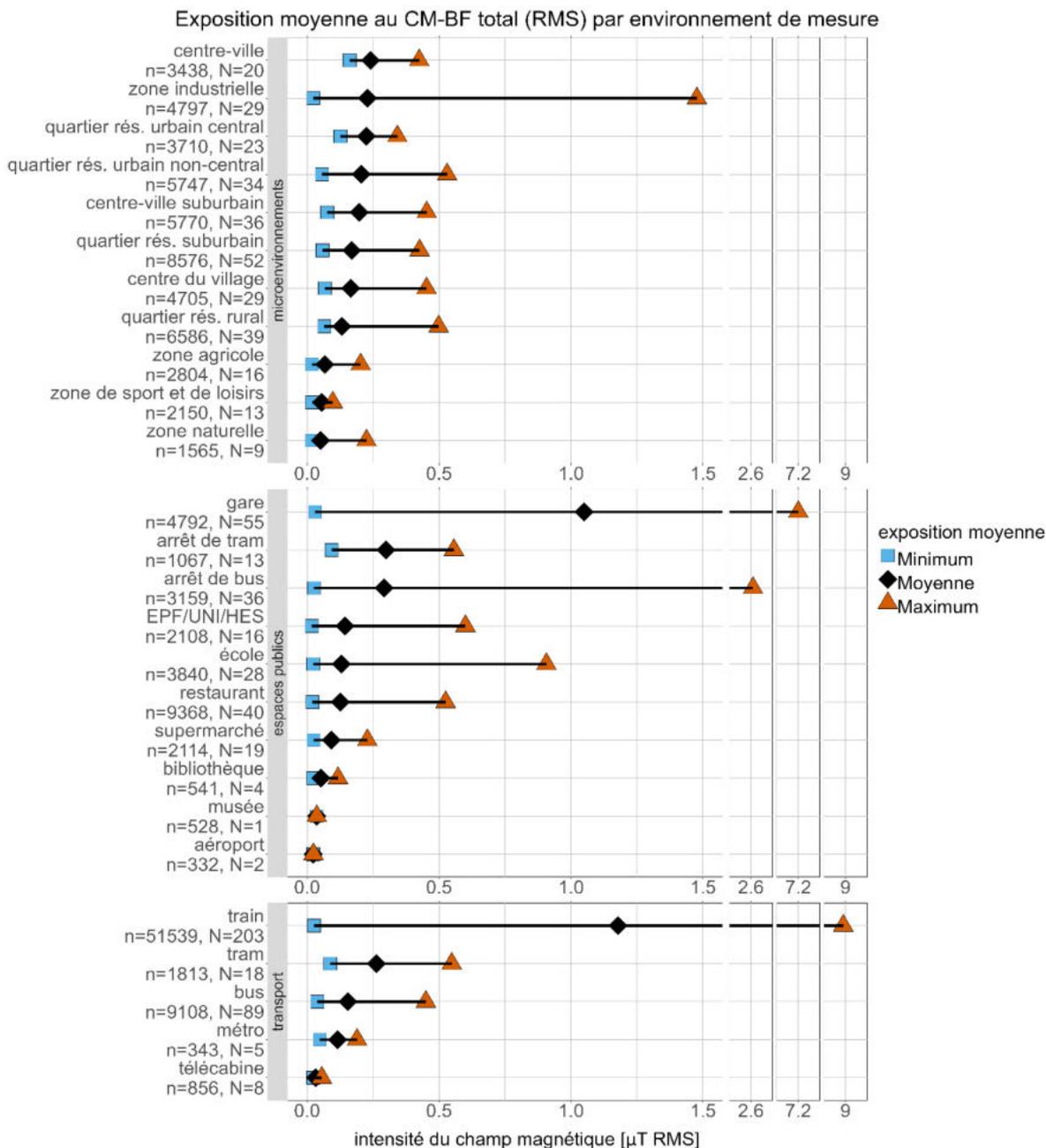


Figure 14: Plage de l'exposition moyenne des mesures CM-BF pour le "premier cycle de mesures des itinéraires" pour les différents environnements. La valeur moyenne de la moyenne arithmétique (losange noir) est calculée selon l'équation (10). Le minimum (carré bleu) et le maximum (triangle rouge) indiquent respectivement les valeurs moyennes arithmétiques les plus basses et les plus élevées pour chaque environnement de mesure. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Afin de montrer également les valeurs moyennes maximales, qui sont parfois nettement plus élevées que celles des autres mesures, l'axe des x est interrompu trois fois entre 1,5 µT et 9,0 µT. Les données sont présentées dans le Tableau 21.

3.1.1.3 Épuisement de la valeur limite d'immissions (VLI)

La Figure 15 montre l'épuisement de la valeur limite d'immissions (VLI) pour les valeurs BF (bleu) et les valeurs HF (rouge) pour toutes les données du premier cycle de mesure des itinéraires, calculées selon la prescription de sommation de l'ORNI [1]. Toutes les données ont été regroupées selon les trois types de mesures (microenvironnements, espaces publics, transports publics). La valeur d'immissions maximale autorisée est un scalaire et à la valeur 100%. Toutes les valeurs inférieures à 100% respectent les valeurs limites d'immissions selon l'ORNI. Les valeurs maximales sont de 13% pour les valeurs BF et de 6% pour les valeurs HF. Les valeurs médianes des valeurs d'épuisement des VLI sont toutes inférieures à 1%.

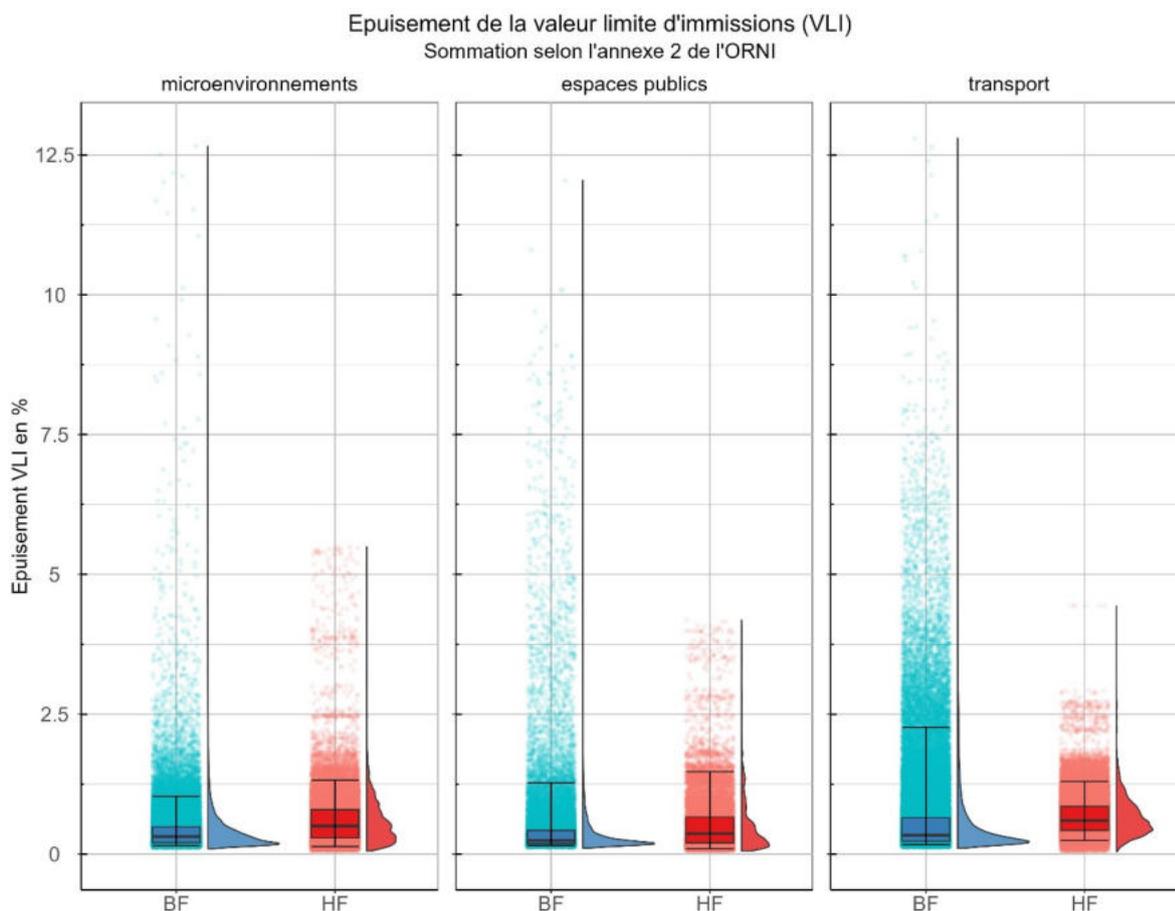


Figure 15: Répartition statistique de l'épuisement de la valeur limite d'immissions pour tous les points de mesure du premier cycle de mesure. Les différentes fréquences ont été additionnées selon la règle de sommation (ORNI, annexe 2). Dans les diagrammes, les différentes valeurs mesurées (pour les BF) ou les différentes valeurs moyennes sur 6 minutes (pour les HF) sont représentées à gauche sous forme de points (jitterplot). Dans le boxplot superposé, la ligne médiane indique la médiane, les boîtes les 25e et 75e percentiles et la zone les 5e et 95e percentiles des différentes valeurs mesurées. Les courbes représentées respectivement à droite montrent la répartition de la fréquence des différentes valeurs mesurées (pour les BF) ou des moyennes sur 6 minutes (pour les HF). L'échelle du diagramme est limitée aux valeurs disponibles (taux d'utilisation maximal d'environ 13%) afin de rendre visible la structure des valeurs.

Parmi toutes les valeurs HF mesurées, aucune ne dépasse la valeur limite d'immission en vigueur. Parmi toutes les valeurs BF mesurées, une seule dépasse la VLI d'un facteur de 1,73. Elle a été exclue de la suite de l'analyse des données et du graphique ci-dessus et est traitée comme une valeur isolée. Cette valeur a été mesurée dans une bibliothèque dans la bande de fréquences de 899-901 Hz. Dans cette bande, la troisième harmonique du courant de tram est mesurable. Dans ce cas, en raison de l'intensité de champ inhabituellement élevée et de la constellation atypique, on peut supposer que cette mesure n'est pas liée au courant de tram et qu'elle provient d'un lecteur RFID magnétique pour livres.

3.1.1.4 Analyses supplémentaires dans les écoles - exposition aux HF et aux BF

Une analyse approfondie a évalué les données de mesure collectées en 2022 et 2023 dans le cadre du premier cycle de mesure dans trois écoles primaires, quatre écoles secondaires et deux lycées. L'exposition aux HF et aux BF a été mesurée dans la cour de récréation, à l'extérieur et dans le bâtiment, avec et sans les élèves, ainsi que dans les couloirs.

La Figure 16 montre sur le côté gauche, sous forme de boxplot, la répartition de l'exposition aux HF des valeurs RMS (en haut) ou des valeurs de Peak (en bas) dans les écoles. Sur le côté droit, les contributions relatives moyennes des six sources HF sont colorées : Downlink (orange), Uplink (bleu foncé), Time Division Duplex TDD (violet), radiodiffusion (vert), WLAN (bleu clair), DECT (rouge). Comme on pouvait s'y attendre, l'exposition est légèrement plus élevée dans les zones extérieures ("cour - extérieure") qu'à l'intérieur du bâtiment ("cour - intérieure", "couloir"). De plus, l'exposition dans les cours de récréation pleines est légèrement plus élevée que celle dans les cours de récréation vides (p. ex. "Cour - extérieure avec élève*" : RMS : 0,23 V/m, Peak : 1,33 V/m) | "Cour - extérieure sans élèves" : RMS : 0,15 V/m, Peak : 0,52 V/m).

Dans les "cours - extérieures", les plus grandes contributions au rayonnement proviennent des installations de téléphonie mobile (contribution Downlink : RMS : 71 -84%, Peak : 66 -68%), suivies des installations de radiodiffusion (RMS : 11 - 21%, Peak : 3 -11%). Dans les "cours - intérieures", les plus grandes contributions au rayonnement proviennent du WLAN (RMS : 14 - 31%, Peak : 61 - 65%), mais à un niveau bas, car la charge moyenne à l'intérieur du bâtiment est globalement faible (RMS : 0,09 - 0,15 V/m). Pendant les pauses à l'intérieur du bâtiment (c'est-à-dire "cour - intérieure avec élèves"), les élèves contribuent légèrement à l'augmentation de l'exposition par l'utilisation active de leurs téléphones portables (contribution Uplink: RMS : 20%, Peak : 12%).

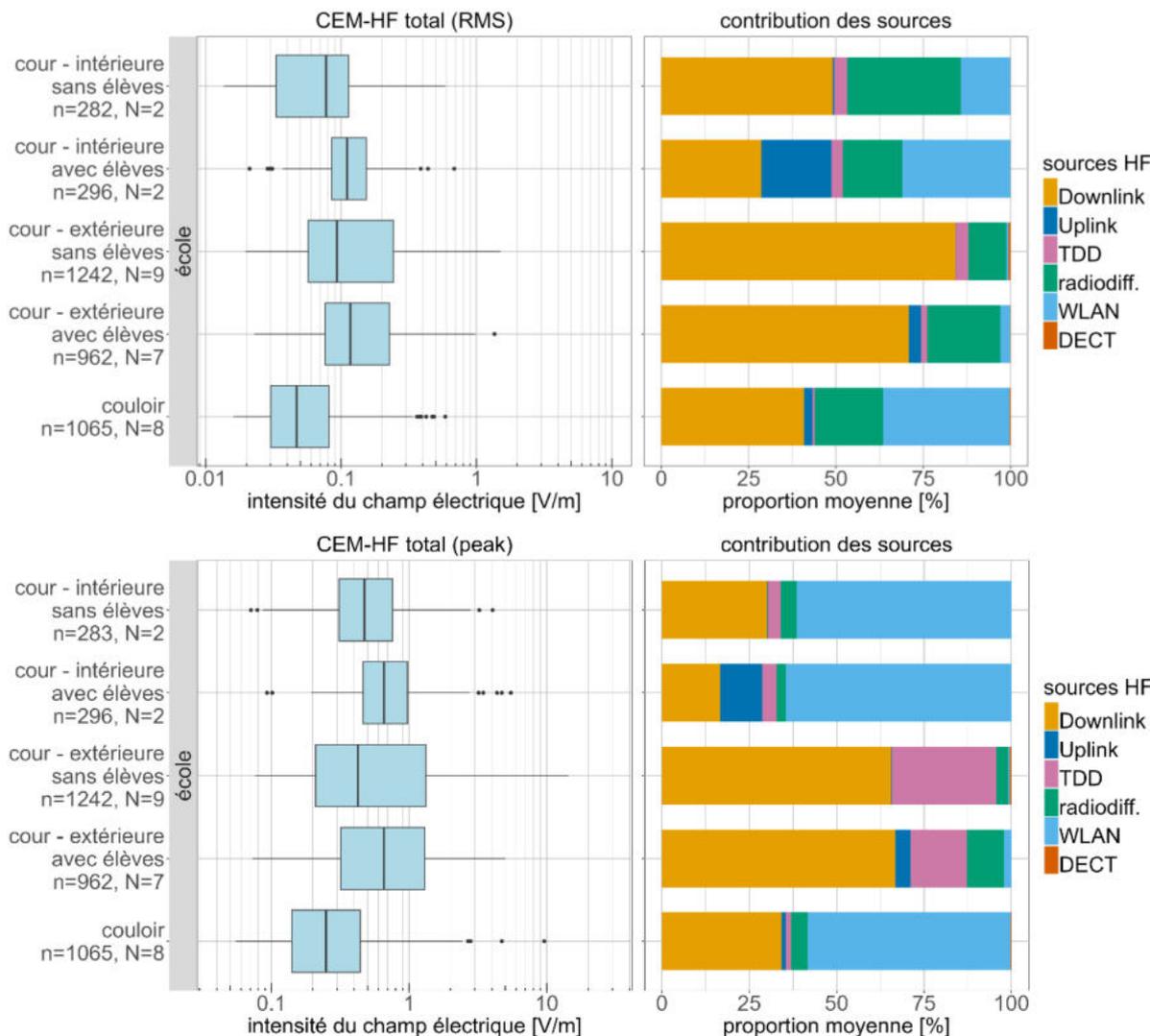


Figure 16: A gauche : Distribution des valeurs RMS (en haut) et des valeurs de Peak (en bas) des mesures CEM-HF dans les écoles du premier cycle de mesure. La ligne médiane, les boîtes, les "whiskers" et les points indiquent respectivement la médiane, les 25e et 75e percentiles, 1,5 fois l'écart interquartile (1,5*IQR) et les valeurs extrêmes. A droite : la contribution moyenne des sources pour chaque type d'environnement de mesure. Les groupes de bandes de fréquences suivants sont pris en compte : Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), diffusion, WLAN et téléphones sans fil (DECT). "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les données statistiques et les contributions des sources sont présentées dans le Tableau 22, resp. Tableau 23.

La Figure 17 montre sur le côté gauche, sous forme de boxplot, la distribution des valeurs RMS de l'exposition aux BF pour les différents lieux de mesure dans les écoles. Sur le côté droit, les contributions relatives moyennes des trois principales sources de rayonnement à basse fréquence sont colorées : Courant ferroviaire (bleu), alimentation électrique (rose) et courant ondulé du tram (jaune). En général, les niveaux médians d'exposition aux CM-BF dans les écoles sont les plus bas de tous les *espaces publics*. Dans les neuf écoles, les mesures ont été effectuées dans la cour extérieure, sans élèves. La valeur médiane pour les CM-BF y est de 0,03 μ T. Il est toutefois intéressant de constater la

grande dispersion des données avec plusieurs valeurs de mesure >1 μT . Ces valeurs élevées proviennent d'une école située à proximité immédiate d'une ligne de chemin de fer. La médiane de l'exposition CM-BF de cette école est de 0,33 μT . Les valeurs CM-BF nettement plus élevées dans cette école font que pour les cours de récréation, le courant ferroviaire fournit en moyenne la contribution la plus élevée (99%).

Dans les huit autres écoles, l'exposition médiane aux CM-BF dans la cour extérieure sans élèves est de 0,02 - 0,14 μT . Pour ces huit écoles, 6 - 97 % de l'exposition aux CM-BF dans la cour de récréation provient de l'alimentation électrique et 3 - 94 % du courant ferroviaire. Ce cela est principalement dû au fait que deux de ces huit écoles sont situées à proximité d'une gare suburbaine et que le courant ferroviaire y contribue jusqu'à 94 %, alors que dans les six autres écoles, le courant ferroviaire y contribue jusqu'à 24 %. Toutefois, l'exposition médiane aux CM-BF y est légèrement plus élevée (0,07 - 0,14 μT) que dans les six autres écoles (0,02 - 0,05 μT). En comparant les valeurs de CM-BF dans les différents lieux de l'école pour la Figure 17, il faut tenir compte que des mesures n'ont pas été effectuées à tous les endroits dans toutes les écoles et que la comparaison est donc influencée par l'une des écoles située à proximité immédiate de la ligne de chemin de fer. Dans cette école, les mesures ont été effectuées dans la cour intérieure (avec et sans élèves) ainsi que dans la cour extérieure sans élèves.

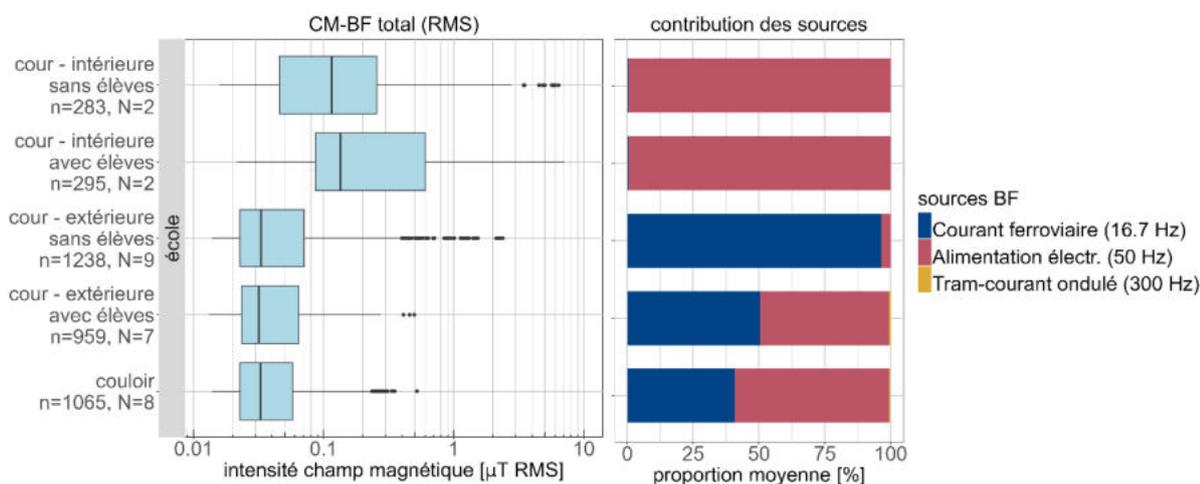


Figure 17: A gauche : Distribution des mesures CM-BF en 2022 et 2023 par type d'environnement de mesure. La ligne médiane, les boîtes, les "whiskers" et les points indiquent respectivement la médiane, les 25e et 75e percentiles, 1,5 fois l'écart interquartile (1,5*IQR) et les valeurs extrêmes. A droite : la contribution moyenne des sources pour chaque type d'environnement de mesure. Les groupes de bandes de fréquences suivants sont pris en compte : Courant ferroviaire (16,7 Hz), alimentation électrique (50 Hz), et courant ondulé du tram (300 Hz) avec leurs harmoniques respectives. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les données statistiques et les contributions des sources sont présentées dans le Tableau et le Tableau 25.

3.1.2 Comparaison de l'exposition en 2021 et 2023

Au cours du second semestre, en 2021 et 2023, des mesures ont été effectuées dans les mêmes 75 microenvironnements et 43 espaces publics, en suivant autant que possible les mêmes itinéraires, à la même période de l'année (+/- une semaine) et de la journée (+/- une heure). Cela permet d'étudier

l'évolution de l'exposition en l'espace de deux ans. Pour comparer l'exposition dans les transports en commun, toutes les données collectées à l'arrivée et au départ des lieux de mesure ont été agrégées sur une période de six mois. Il convient de noter qu'il existe des différences dans l'utilisation des moyens de transport et quelques différences dans les trajets vers les lieux de mesure. Des différences dans le nombre de points de mesure "n" peuvent être observées dans tous les environnements, car le temps de mesure peut varier légèrement, avec un minimum de 15 minutes dans les microenvironnements et de cinq minutes dans les espaces publics. Le nombre d'environnements "N" mesurés varie, car différents trajets en transports publics ont été effectués pour se rendre sur les sites de mesure.

La Figure 18 et la Figure 20 montrent respectivement la comparaison de la distribution de l'exposition totale aux HF des valeurs RMS ou des valeurs de Peak du deuxième semestre de l'année 2021 (violet) et de l'année 2023 (jaune), où les mesures ont été effectuées dans les mêmes environnements. Dans la majorité des environnements, les médianes RMS sont similaires ($\pm 0,03$ V/m). Dans certains environnements de mesure, les valeurs médianes étaient plus élevées en 2023, notamment dans un aéroport (RMS : 2021 : 0,33 V/m, 2023 : 0,50 V/m, Peak : 2021 : 2,16 V/m, 2023 : 4,27 V/m), et dans *les transports publics* (par exemple dans les trains (RMS : 2021 : 0,21 V/m, 2023 : 0,28 V/m, Peak : 2021 : 1,33 V/m, 2023 : 1,87 V/m) et les bus (RMS : 2021 : 0,15 V/m, 2023 : 0,23 V/m, Peak : 2021 : 0,81 V/m, 2023 : 1,40 V/m). Aux arrêts de bus, les valeurs médianes sont un peu plus basses en 2023 (RMS : 2021 : 0,36 V/m, 2023 : 0,31 V/m, Peak : 2021 : 1,91 V/m, 2023 : 1,76 V/m).

La valeur médiane CEM-HF RMS pour tous les *microenvironnements* était de 0,14 V/m tant en 2021 qu'en 2023. La valeur de Peak médiane était de 0,60 V/m en 2021 et de 0,65 V/m en 2023. Pour tous les *espaces publics*, la valeur RMS médiane était de 0,13 V/m en 2021 (Peak : 0,67 V/m) et de 0,14 V/m en 2023 (Peak : 0,95 V/m). Pour tous les *moyens de transport*, la valeur RMS médiane était de 0,21 V/m (Peak : 1,26 V/m) en 2021 et de 0,27 V/m (Peak : 1,78 V/m) en 2023 (voir Tableau 32).

La Figure 19 et Figure 21 montrent les contributions relatives moyennes des six sources HF en 2021 et 2023 : Downlink (orange), Uplink (bleu foncé), Time Division Duplex TDD (violet), Radio (vert), WLAN (bleu clair), DECT (rouge). Dans la plupart des cas, des profils de contribution similaires sont observés en 2021 et 2023. Un changement notable est une augmentation de la part de TDD dans les valeurs PEAK, en particulier dans les zones urbaines, industrielles, sportives et de loisirs, ainsi que dans les *transports publics*, y compris les arrêts de bus et l'aéroport. Par exemple, la part de TDD pour les valeurs de Peak dans les zones industrielles et les zones de sport et de loisirs est passée de 17% et 6% en 2021 à 28% et 31% en 2023, respectivement. L'augmentation de TDD aux arrêts de tram (2021 : 8%, 2023 : 32%) et aux aéroports (2021 : 11%, 2023 : 67%) est également marquée. Dans les *transports publics*, la part des TDD dans les valeurs de Peak a augmenté dans les trains (2021 : 10%, 2023 : 53%), les trams (2021 : 24%, 2023 : 38%), et les bus (2021 : 6%, 2023 : 45%).

Pour les valeurs RMS, une augmentation de la proportion de TDD a également été observée entre 2021 et 2023, mais elle était généralement moins prononcée sauf dans un aéroport (2021 : 2%, 2023 : 49%), aux arrêts de tram (2021 : 1%, 2023 : 14%), dans les trains (2021 : 3%, 2023 : 27%), dans les trams (2021 : 3%, 2023 : 14%) et dans les bus (2021 : 1%, 2023 : 7%).

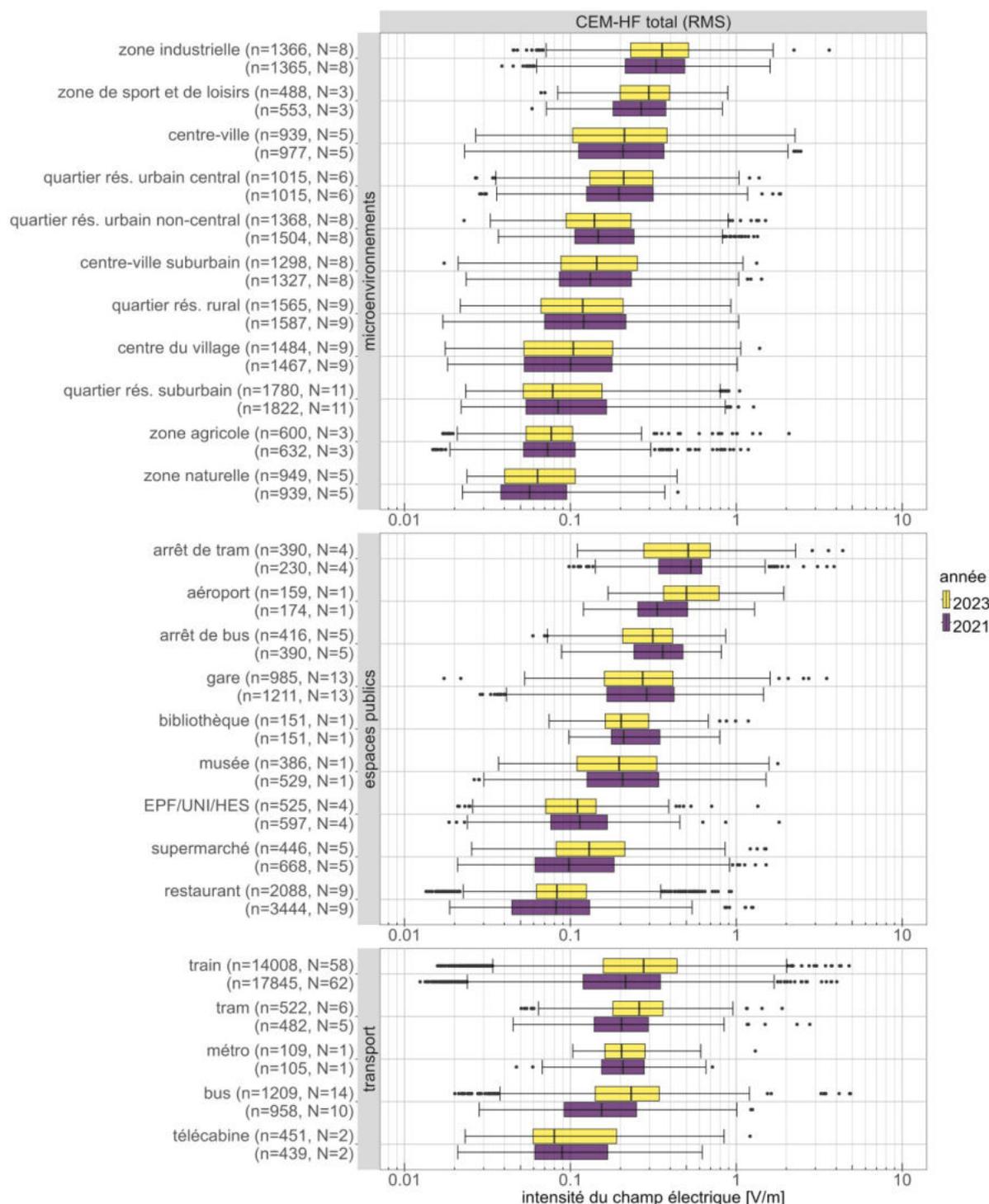


Figure 18: Comparaison de la distribution des mesures RMS CEM-HF dans les mêmes environnements en 2021 (violet) et 2023 (jaune). La ligne médiane, les boîtes, les "whiskers" et les points indiquent respectivement la médiane, les 25e et 75e percentiles, 1,5 fois l'écart interquartile (1,5*IQR) et les valeurs extrêmes. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les données statistiques sont présentées dans le Tableau 26.

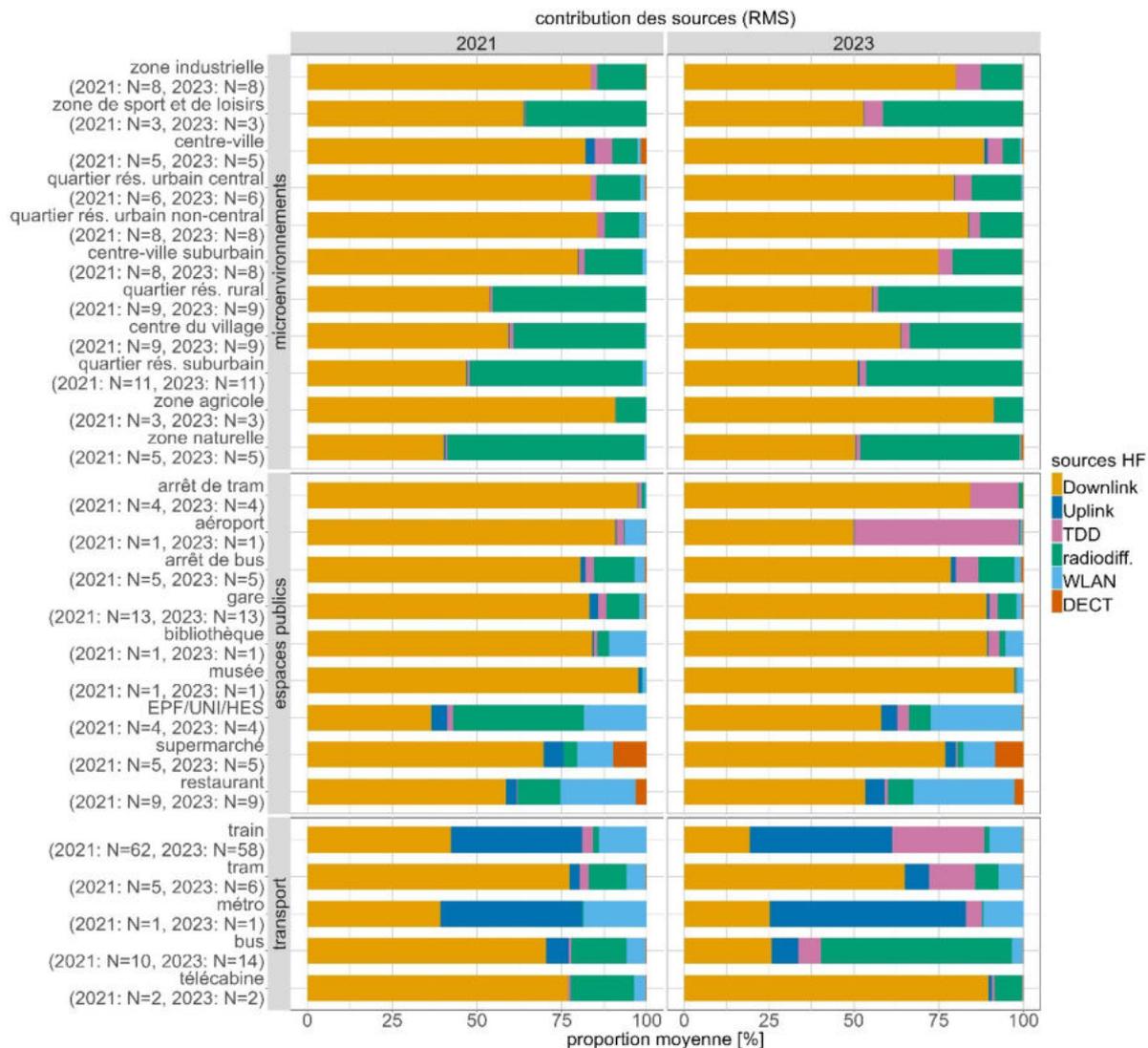


Figure 19: La contribution moyenne des sources HF RMS pour chaque type d'environnement en 2021 et 2023, où les mesures ont été effectuées dans les mêmes environnements. Les groupes de bandes de fréquences suivants sont pris en compte : Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), radiodiffusion, WLAN et téléphones sans fil (DECT). "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les contributions des sources sont présentées dans le Tableau 27.

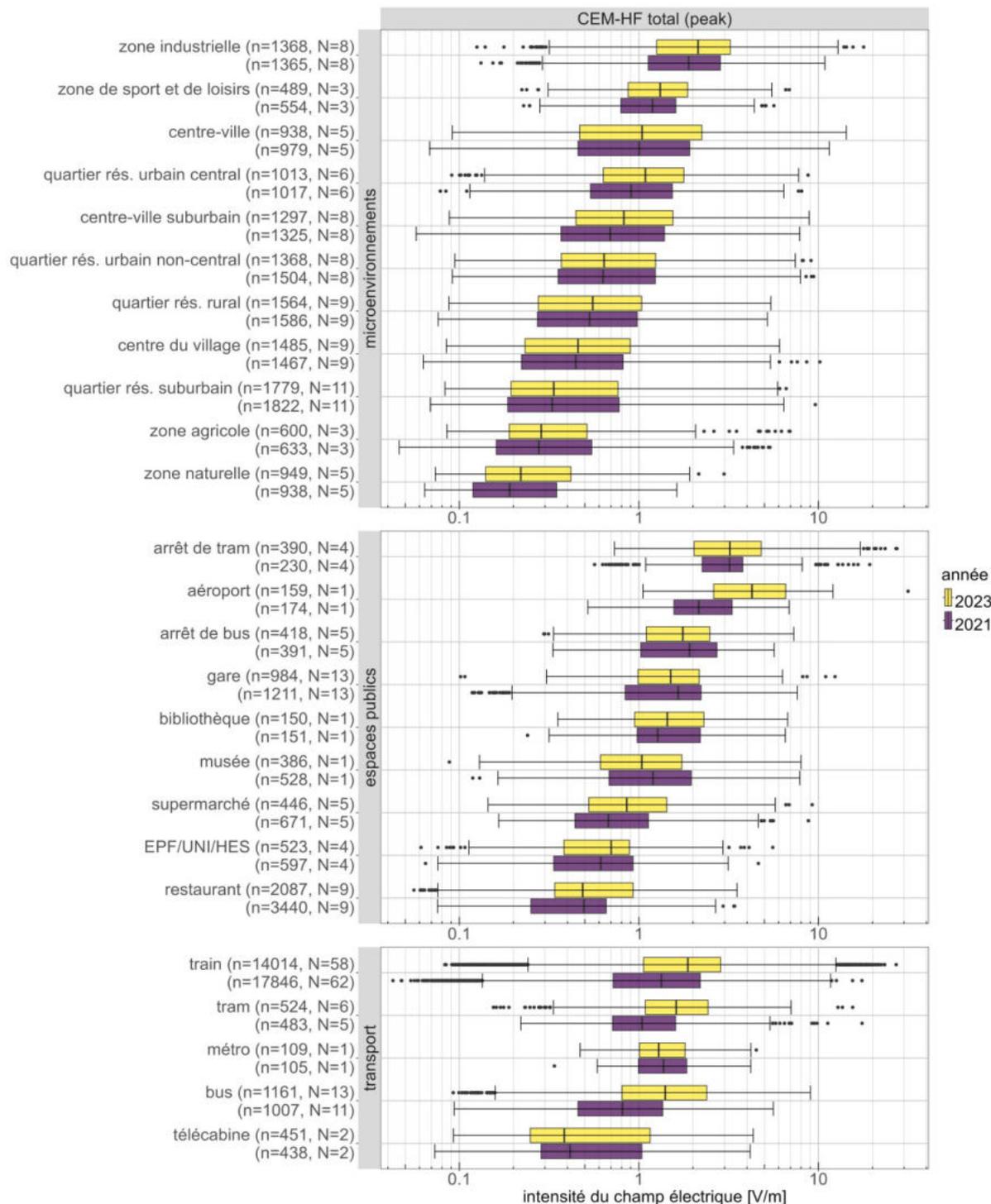


Figure 20: Comparaison de la distribution des valeurs de mesure Peak CEM-HF dans les mêmes environnements en 2021 (violet) et 2023 (jaune). La ligne médiane, les boîtes, les "whiskers" et les points indiquent respectivement la médiane, les 25e et 75e percentiles, 1,5 fois l'écart interquartile (1,5*IQR) et les valeurs extrêmes. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les données statistiques sont présentées dans le Tableau 28.

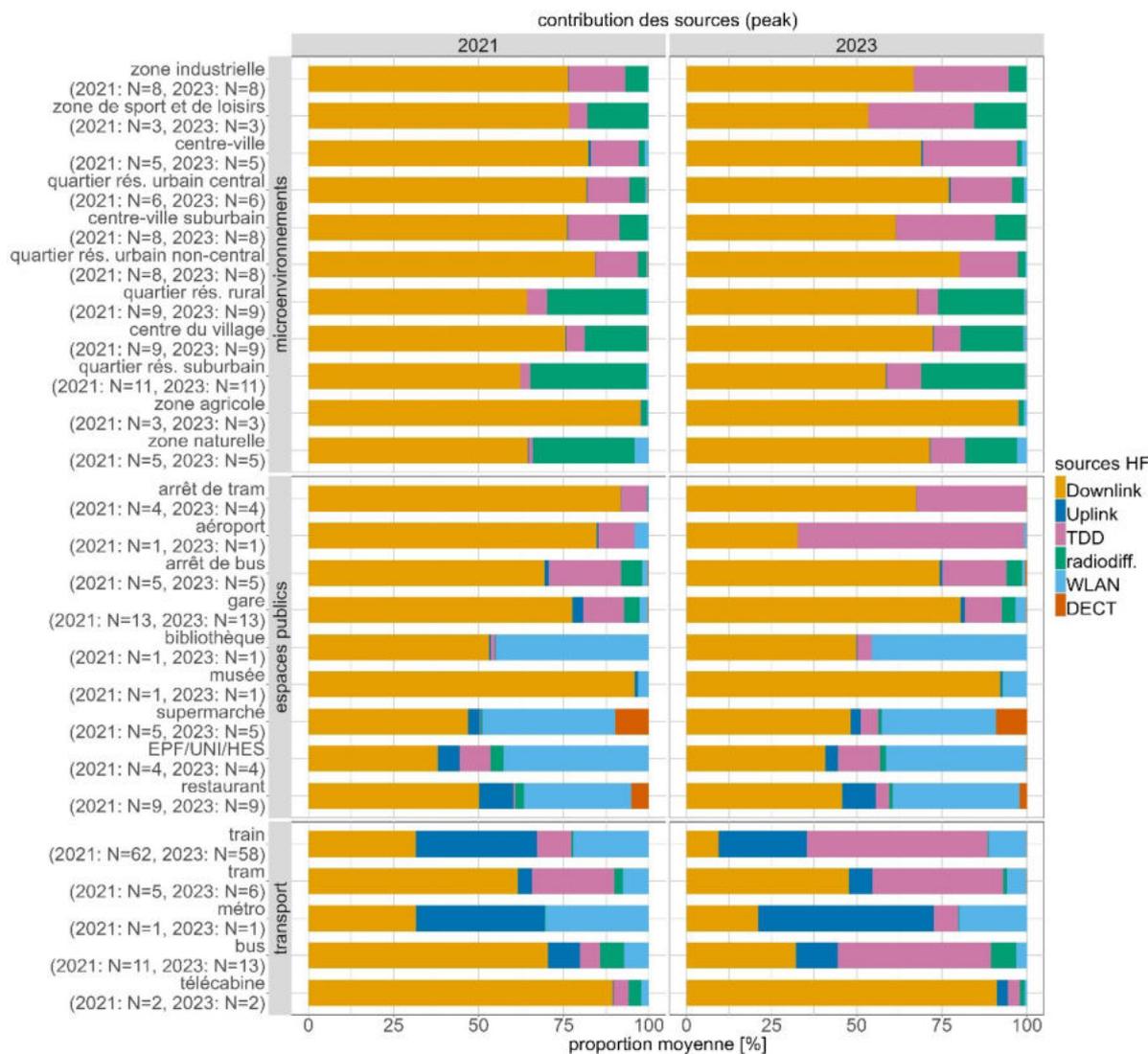


Figure 21: La contribution moyenne des sources HF RMS pour chaque type d'environnement de mesure en 2021 et 2023, où les mesures ont été effectuées dans les mêmes environnements. Les groupes de bandes de fréquences suivants sont pris en compte : Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), radiodiffusion, WLAN et téléphones sans fil (DECT). "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les contributions des sources sont présentées dans le Tableau 29.

La Figure 22 montre la comparaison de la distribution de exposition totale aux BF des valeurs RMS en 2021 (violet) et en 2023 (jaune), où chaque mesure a été effectuée au même endroit. Dans la plupart des environnements de mesure, les médianes RMS sont restées dans une fourchette de $\pm 0,02 \mu\text{T}$. En 2023, la valeur médiane était légèrement plus élevée dans les gares (2021 : $0,19 \mu\text{T}$, 2023 : $0,32 \mu\text{T}$) et légèrement plus basse aux arrêts de tram (2021 : $0,31 \mu\text{T}$, 2023 : $0,23 \mu\text{T}$), dans les trains (2021 : $0,42 \mu\text{T}$, 2023 : $0,35 \mu\text{T}$) et dans le métro (2021 : $0,12 \mu\text{T}$, 2023 : $0,05 \mu\text{T}$).

Dans la Figure 23, les contributions relatives moyennes des trois sources de BF en 2021 et 2023 sont colorées en bleu (courant ferroviaire), en rose (alimentation électrique) et en jaune (courant ondulé du tram). Les mêmes profils de contribution sont observés dans la plupart des cas entre 2021 et 2023. Bien que l'on observe des différences dans les contributions en pourcentage dans chaque environnement, la contribution principale reste la même, sauf dans les bus et les zones naturelles. Dans les bus et les zones naturelles, la contribution principale en 2021 provient de l'électricité ferroviaire (bus : 62%, zone naturelle : 55%), alors qu'en 2023, elle provient de l'électricité (bus : 67%, zone naturelle : 83%). Ces différences peuvent s'expliquer en partie par le nombre différent de mesures effectuées dans les bus en 2021 (N=10) et en 2023 (N=14). Dans les zones naturelles, l'exposition est faible (2021-2023 : 0,02 μ T), de sorte que quelques valeurs de mesure plus élevées au cours d'une année peuvent entraîner de grands changements dans la contribution relative des sources.

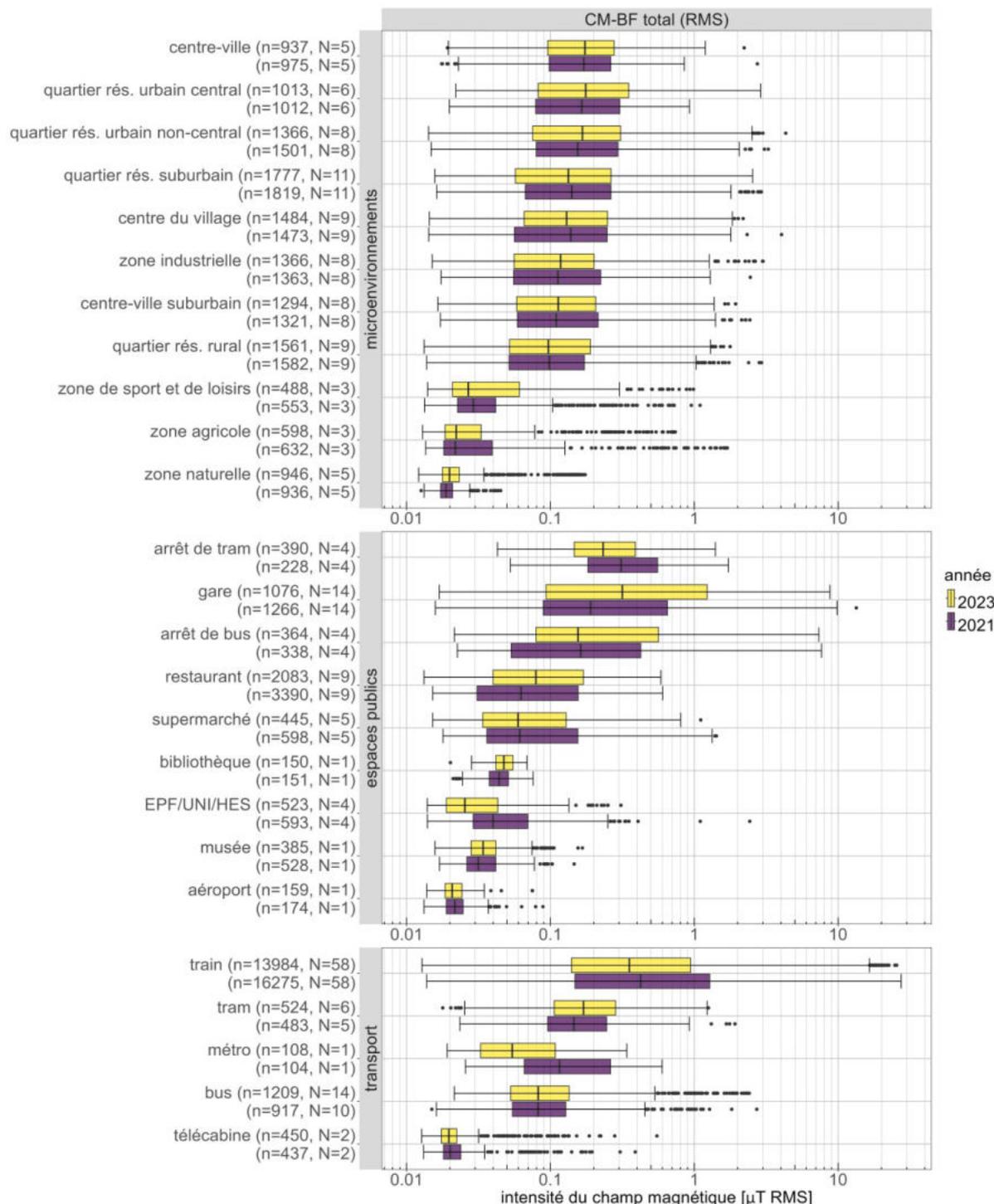


Figure 22: Comparaison de la distribution des mesures RMS CM-BF dans les mêmes environnements en 2021 (violet) et 2023 (jaune). La ligne médiane, les boîtes, les "whiskers" et les points indiquent respectivement la médiane, les 25e et 75e percentiles, 1,5 fois l'écart interquartile ($1,5 \cdot IQR$) et les valeurs extrêmes. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les données statistiques sont présentées dans le Tableau 30.

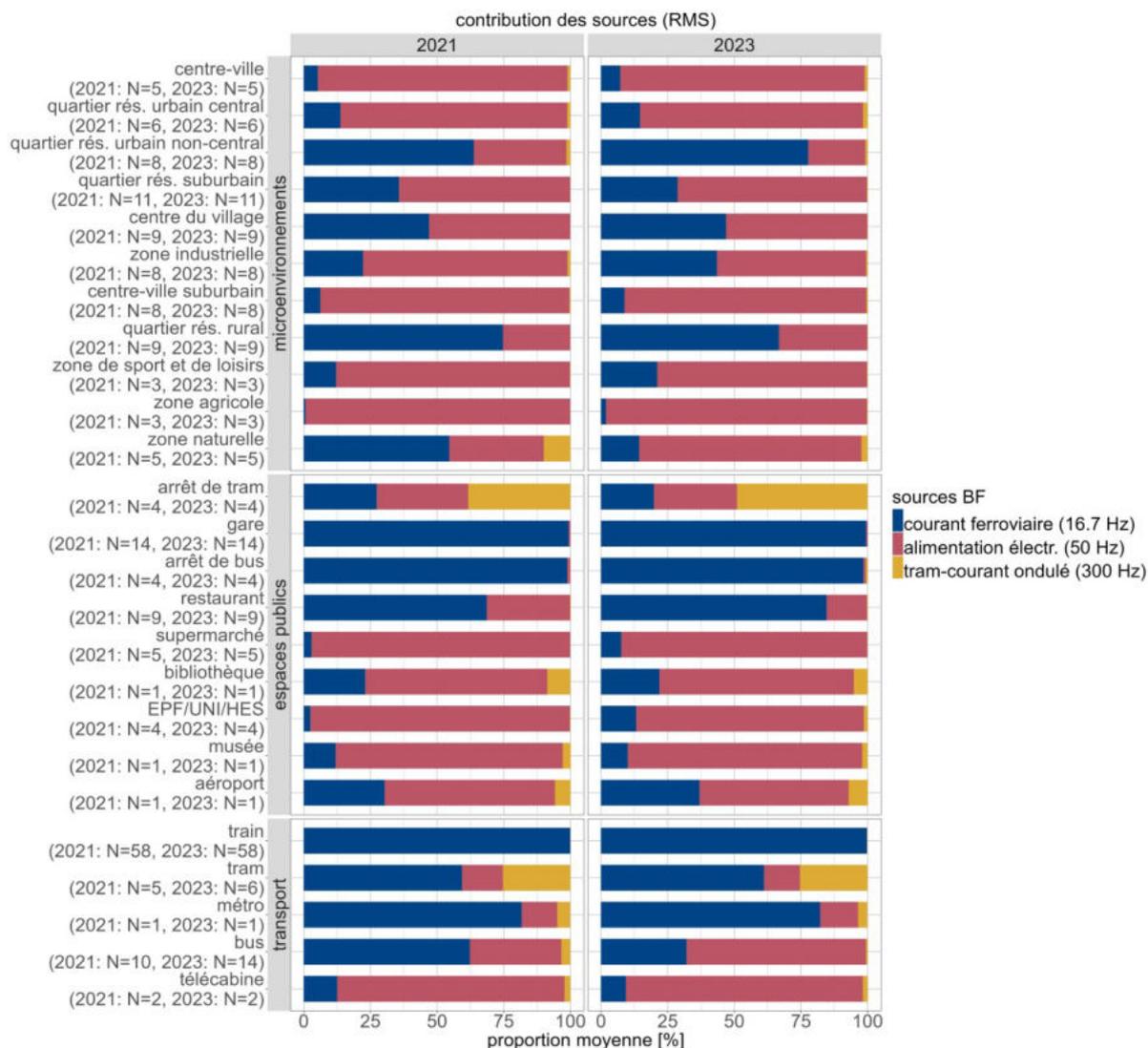


Figure 23: La contribution moyenne des sources CM-BF pour chaque type d'environnement en 2021 et 2023, où les mesures ont été effectuées aux mêmes endroits. Les groupes de bandes de fréquences suivants sont pris en compte : Courant ferroviaire (16,7 Hz), alimentation électrique (50 Hz), et courant ondulé du tram (300 Hz) avec leurs harmoniques respectives. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. Les contributions des sources sont présentées dans le Tableau 31.

3.2 Mesures spot ou d'appartement

3.2.1 Exposition aux HF

La Figure 24 représente la répartition des valeurs de mesure RMS CEM-HF pour tous les 57 immeubles mesurés entre 2021 et mars 2024 (voir chapitre 2.2.1). Figure 25 montre la répartition des valeurs de crête CEM-HF (valeurs de Peak). La partie droite du graphique présente à chaque fois la répartition en pourcentage des contributions des sources à l'intensité de champ totale moyenne. Les mesures partielles, c'est-à-dire les mesures de longue durée, les mesures mobiles et les mesures de courte

durée, sont évaluées séparément. Comme indiqué au chapitre 2.1, les immeubles situés à proximité d'une source primaire ont été choisis de manière ciblée afin d'étudier l'influence d'une source proche sur l'exposition. Les sites sans source primaire correspondent à une répartition représentative des situations d'exposition au RNI en Suisse. Sur les 57 sites mesurés, 29 se trouvent à proximité d'une station de base de téléphonie mobile, quatre à proximité d'un émetteur de radiodiffusion et 24 sont sans source primaire.

Pour les *mesures de courte durée*, les sites de mesure situés à proximité d'installations de téléphonie mobile présentent une valeur médiane de l'intensité de champ électrique totale de 0,17 V/m (RMS) ou 0,99 V/m (Peak). La répartition en pourcentage de l'intensité de champ électrique totale RMS se compose en moyenne dans les groupes de services suivants : Downlink : 72 %, radiodiffusion : 20 %, WLAN : 5 %. L'intensité de champ totale des Peak correspondante se compose comme suit : Downlink : 61 %, WLAN : 19 %, TDD : 8 % et radiodiffusion : 6 %. Les immeubles situés à proximité d'un émetteur radio/TV présentent la plus grande valeur médiane de l'intensité de champ électrique totale (RMS : 0,40 V/m, Peak : 1,85 V/m). Les contributions de source RMS s'élèvent à 86 % pour la radiodiffusion et à 13 % pour le WLAN. Pour les valeurs de Peak, la contribution du WLAN est de 72 % et celle de la radiodiffusion de 26 %. Pour les immeubles qui n'ont pas été choisis en raison de leur proximité avec l'une des sources HF susmentionnées ("pas de source primaire HF"), la valeur médiane est de 0,15 V/m (RMS) et de 1,05 V/m (Peak). Ces valeurs représentent donc une exposition typique dans les habitations suisses. Les contributions de champ RMS résultent en moyenne des groupes suivants pour la catégorie "pas de source primaire HF" : WLAN : 40 %, Downlink : 31 %, radiodiffusion : 23 % et DECT : 6 %. Les contributions de champ de pointe les plus importantes sont obtenues pour le: WLAN : 82 %, Downlink : 9 %, DECT : 6 %.

Pour les *mesures mobiles*, les sites situés à proximité d'antennes de téléphonie mobile présentent une valeur médiane de 0,14 V/m (RMS) ou 0,87 V/m (Peak). Les deux plus grandes sources RMS dans cette catégorie sont le Downlink avec 70 % et la radiodiffusion avec 24 %. Les contributions de Peak se composent de 64 % de Downlink, 21 % de WLAN et 11 % de radiodiffusion. Pour les mesures effectuées à proximité d'installations de radiodiffusion, la médiane est de 0,27 V/m (RMS) et de 0,88 V/m (Peak), ce qui représente également la plus grande valeur RMS parmi les mesures mobiles. Les contributions de champ RMS de la catégorie radiodiffusion prédominent fortement avec 95 %. L'intensité de champ totale des Peak comprend les contributions des services de radiodiffusion 62 %, WLAN 33 % et Downlink 4 %. Les logements de la catégorie "pas de source primaire HF" présentent une exposition médiane de 0,09 V/m (RMS) ou 0,61 V/m (Peak). Les plus grandes contributions de source RMS de la catégorie "pas de source primaire HF" sont : Downlink : 45 %, radiodiffusion : 28 % et WLAN : 23 %. Les contributions des Peak proviennent principalement du WLAN (62 %) et, dans une moindre mesure, du Downlink (25 %) et du DECT (6 %).

Pour les *mesures à long terme*, les sites de mesure situés à proximité d'installations de téléphonie mobile présentent une valeur médiane de 0,16 V/m (RMS) ou 0,85 V/m (Peak). La principale source RMS est le Downlink avec 80 %, suivie par la radiodiffusion avec 19 %. L'intensité de champ totale de Peak comprend 90 % de Downlink et 7 % de radiodiffusion. Les mesures à long terme effectuées sur des sites avec des émetteurs de radiodiffusion présentent la plus grande médiane au sein du groupe, avec une intensité de champ électrique totale de 0,35 V/m (RMS) et de 1,33 V/m (Peak). La radiodiffusion fournit, sur ce site, la plus grande contribution à l'intensité de champ RMS avec 97 %, suivie par

le Downlink avec 3 %. Pour l'intensité de champ totale des Peak, les contributions de la radiodiffusion dominant également avec 83 %, suivies par la Downlink avec 10 % et le WLAN avec 5 %.

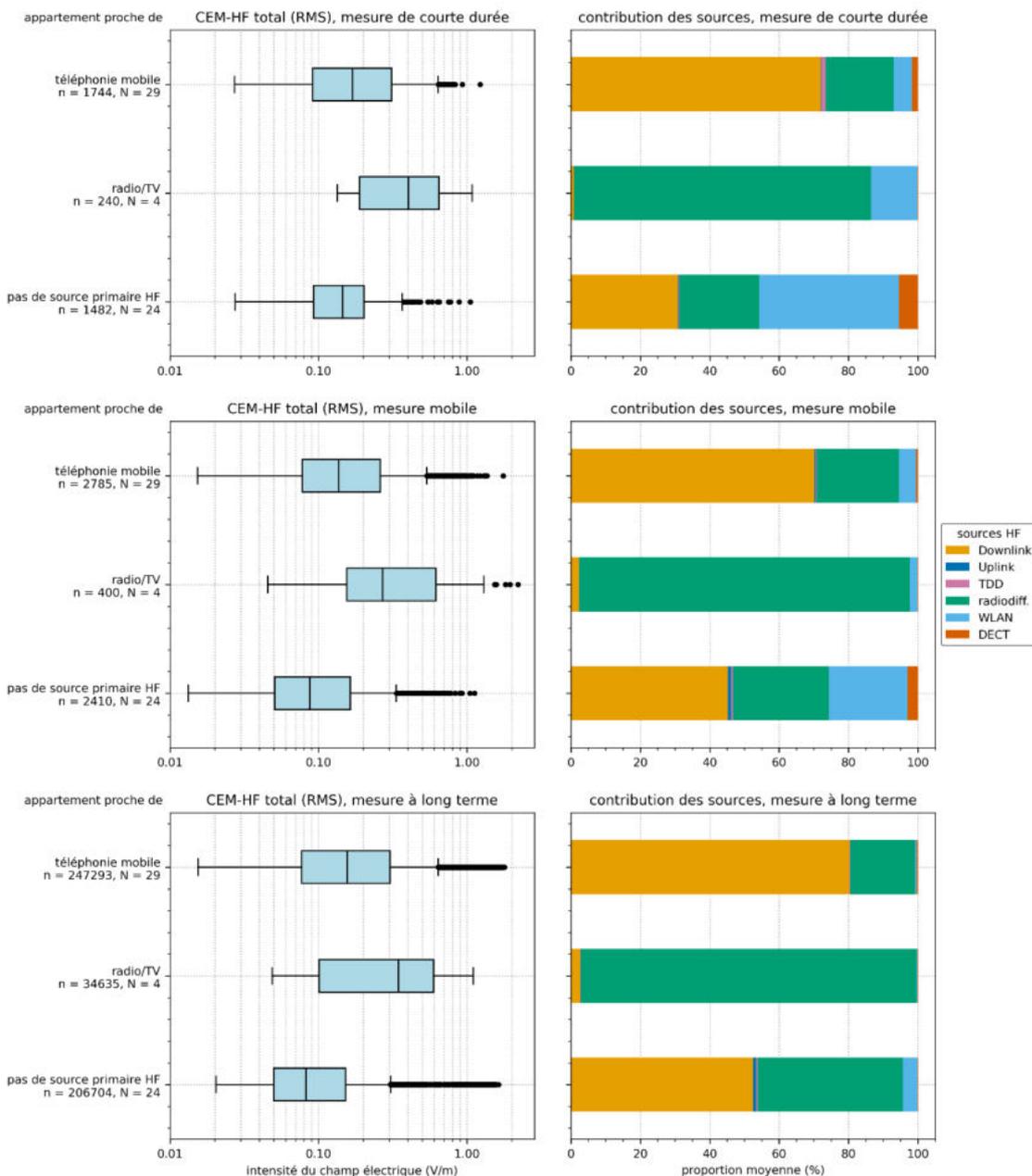


Figure 24: Répartition des valeurs CEM-HF totales (RMS) des mesures spot calculées à l'aide de l'équation (1), regroupées par mesure partielle (mesure de courte durée, mesure mobile et mesure de longue durée) et par source primaire de HF dans les environs du site de mesure. Les immeubles sans source primaire HF ont été choisis au hasard et représentent l'exposition typique aux CEM-HF en Suisse. La ligne médiane indique la médiane et la bande bleue les 25e et 75e percentiles. Les valeurs aberrantes se situent en dehors de la zone 1,5*IQR (distance interquartile) et sont représentées par des points individuels. n désigne le nombre de points de données et N le nombre de sites de mesure. Pour tous les sites de mesure avec un type de source primaire donné, la répartition en pourcentage des groupes de bandes de fréquences par rapport à l'intensité de champ totale moyenne RMS est indiquée, voir équation (7). Une distinction est faite entre Downlink, Uplink, Time-Division-Duplex (TDD), radiodiffusion, WLAN et DECT. Les caractéristiques statistiques sont disponibles dans le Tableau 33 et Tableau 34.

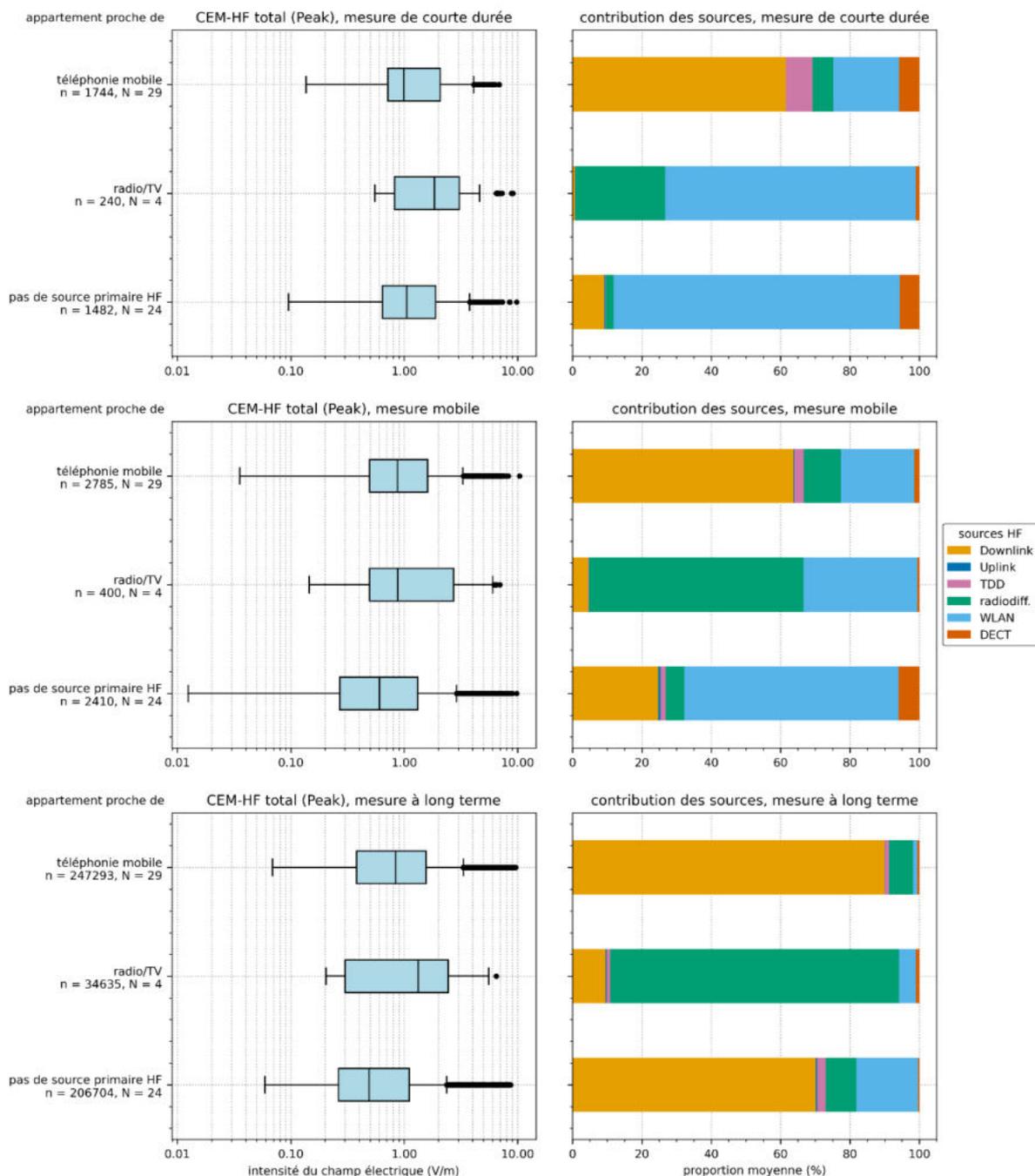


Figure 25: Répartition des valeurs CEM-HF totales (Peak) des mesures spot calculées à l'aide de l'équation (1), regroupées par mesure partielle (mesure de courte durée, mesure mobile et mesure de longue durée) et par source primaire HF dans les environs du site de mesure. Les immeubles sans source primaire HF ont été choisis au hasard et représentent l'exposition typique aux CEM-HF en Suisse. La ligne médiane indique la médiane et la bande bleue les 25e et 75e percentiles. Les valeurs aberrantes se situent en dehors de la zone $1,5 \cdot IQR$ (distance interquartile) et sont représentées par des points individuels. n désigne le nombre de points de données et N le nombre de sites de mesure. Pour tous les sites de mesure avec un type de source primaire donné, la répartition en pourcentage des groupes de bandes de fréquences par rapport à l'intensité de champ totale moyenne de Peak est indiquée, voir l'équation (7). Une distinction est faite entre Downlink, Uplink, Time-Division-Duplex (TDD), radiodiffusion, WLAN et DECT. Les caractéristiques statistiques sont disponibles dans le Tableau 35 et Tableau 36.

La catégorie "pas de source primaire HF" présente une intensité de champ médiane de 0,08 V/m (RMS) et 0,49 V/m (Peak) pour les mesures à long terme. Le Downlink et la radiodiffusion fournissent les principales contributions RMS avec 53 % et 42 %, respectivement. Les principales contributions de Peak proviennent du Downlink et du WLAN avec respectivement 70 % et 18 %.

Les caractéristiques statistiques pour les mesures présentées dans la Figure 24 se trouvent en annexe, regroupées selon les mesures partielles (Tableau 33 et Tableau 34). Les données caractéristiques pour la Figure 25 se trouvent dans le Tableau 35 et le Tableau 36.

La Figure 26 et la Figure 27 montrent la fourchette de la moyenne quadratique (RMS, voir équation (4)) de l'intensité de champ électrique totale (voir équation (1)) pour toutes les mesures de RMS et de Peak dans une catégorie de sources primaires. En outre, la moyenne arithmétique de toutes les valeurs moyennes quadratiques est également représentée pour chaque catégorie de sources primaires (voir équation 9). Par rapport aux valeurs médianes de la Figure 24, les valeurs moyennes des données RMS sont généralement un peu plus élevées. Il en va de même pour les moyennes pour les données de Peak de la Figure 27 par rapport aux valeurs médianes de la Figure 25. Le schéma des valeurs moyennes entre les trois catégories de sources primaires est similaire à celui des valeurs médianes de la Figure 24 et la Figure 25.

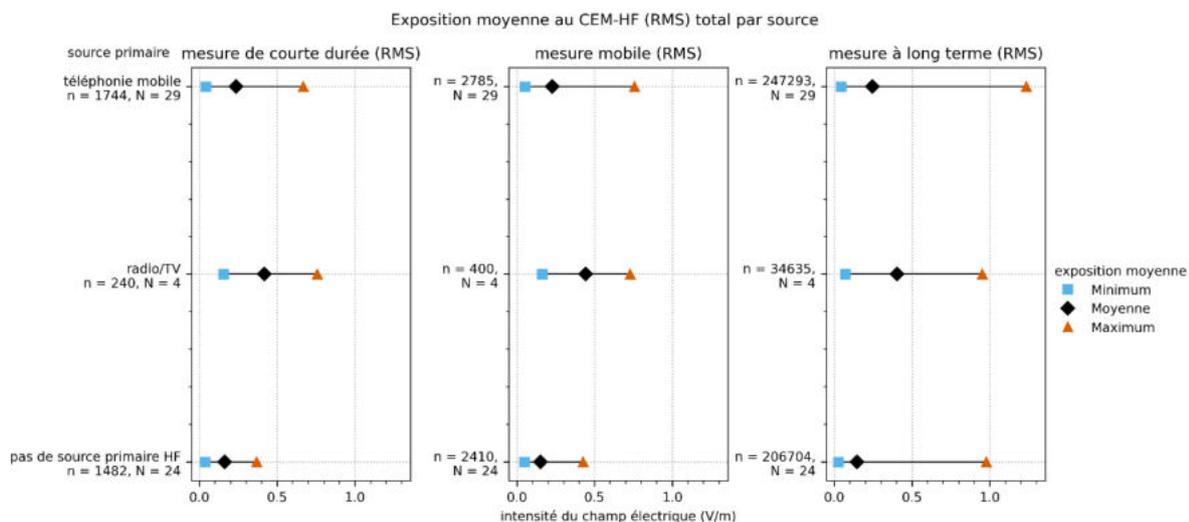


Figure 26: Fourchette de la moyenne quadratique (RMS) de l'intensité de champ électrique totale calculée selon l'équation (4) pour chaque mesure au sein d'une catégorie de sources primaires. Les données RMS ont été utilisées pour le calcul. Le losange indique la moyenne arithmétique de toutes les moyennes quadratiques appartenant à un type de source, voir équation (9). Les limites de gauche et de droite indiquent la force la plus faible et la force la plus élevée du champ RMS total de toutes les mesures de la catégorie. Le nombre de points de mesure est désigné par n et le nombre de mesures de sites est exprimé par N. Les données de la figure se trouvent dans le Tableau 37 de l'annexe.

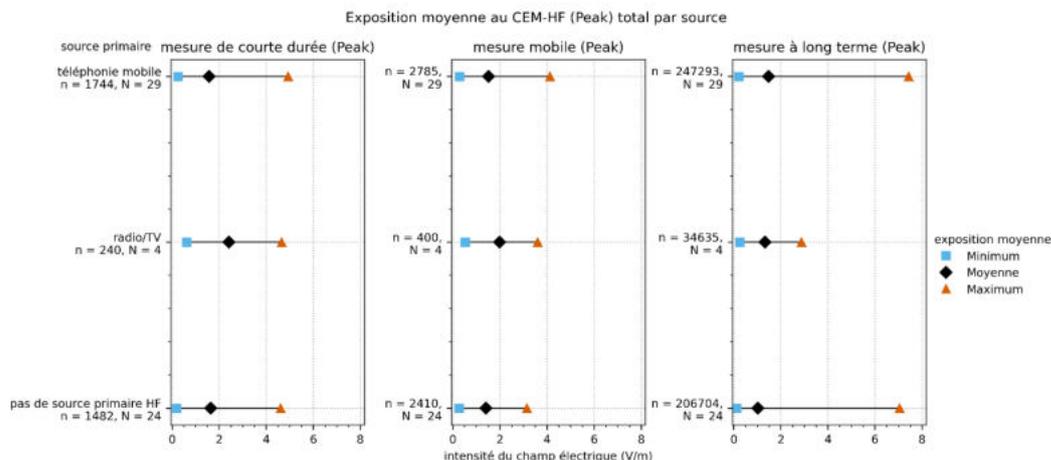


Figure 27: Fourchette de la moyenne quadratique (Peak) de l'intensité de champ électrique totale calculée selon l'équation (4) pour chaque mesure au sein d'une catégorie de sources primaires. Les valeurs de Peak ont été utilisées pour le calcul. Le losange indique la moyenne arithmétique de toutes les valeurs moyennes quadratiques appartenant à un type de source, voir équation (9). Les limites de gauche et de droite indiquent la puissance la plus faible et la plus élevée du champ RMS total de toutes les mesures de la catégorie. Le nombre de points de mesure est désigné par n et le nombre de mesures de site est exprimé par N. Les données de la figure se trouvent dans le Tableau 38 en annexe.

3.2.2 Exposition aux BF

La distribution de la densité de flux magnétique totale de tous les points de mesure RMS CM-BF est illustrée dans la Figure 28. Les données de la mesure à court terme, de la mesure mobile et de la mesure à long terme sont évaluées séparément. Les caractéristiques statistiques des distributions sont présentées dans le Tableau 39. La répartition en pourcentage des contributions des sources à la densité de flux magnétique totale est indiquée dans la colonne de droite de la Figure 28 et les caractéristiques sont présentées dans le Tableau 40. En fonction de l'analyse présentée dans le Tableau 3, les contributions des sources sont attribuées aux catégories chemin de fer, approvisionnement en énergie et tram. La mesure à court terme et la mesure mobile sont effectuées simultanément, mais dans des pièces différentes. La mesure à long terme a également lieu pendant la nuit.

Sur les 57 propriétés mesurées, cinq sont situées à proximité d'une ligne de chemin de fer à deux voies, quatre à proximité d'une ligne de chemin de fer à une voie, deux au-dessus d'un tunnel ferroviaire, une à proximité d'une ligne de tram ou d'une station de transformation et onze au total à proximité d'une ligne aérienne de 220/380 kV, 36 -150 kV ou 1-36 kV. Les 33 logements restants n'ont pas été sélectionnés en raison de la proximité d'une source BF (Figure 28). Il convient de noter que les données relatives aux catégories de sources primaires comportant peu de logements n'ont pas encore de caractère représentatif. Les distributions représentées sont donc encore fortement influencées par les lieux de mesure respectifs et il n'est pas encore possible de tirer des conclusions fiables sur les fourchettes d'exposition attendues.

Pour les *mesures de courte durée*, la valeur médiane dans les pièces de séjour fréquent des habitations situées à proximité de lignes de chemin de fer à deux voies est de 0,10 μ T. Dans les habitations proches de lignes de chemin de fer à une voie, la médiane est presque deux fois moins élevée (0,06 μ T). Pour un immeuble situé à proximité d'un tunnel ferroviaire à deux voies, la médiane d'exposition a été établie à 0,05 μ T. Pour une autre habitation située au-dessus d'un tunnel avec une ligne de chemin de fer à une voie, la médiane d'exposition la plus élevée a été observée pour les lignes de

chemin de fer de cette catégorie de mesure partielle (0,25 μT). Cette valeur élevée, malgré la ligne à voie unique, est probablement due à la proximité immédiate de la ligne de contact avec l'habitation. Pour ces quatre catégories de sources primaires, les valeurs médianes de la *mesure mobile* sont pratiquement identiques à celles des mesures à court terme respectives. Pour les *mesures de longue durée*, les valeurs sont légèrement inférieures avec 0,07 μT pour les mesures à proximité de lignes de chemin de fer à deux voies, 0,05 μT à proximité de lignes de chemin de fer à une voie et 0,18 μT pour la mesure individuelle avec un tunnel à une voie. En revanche, l'habitation situé au-dessus d'un tunnel ferroviaire à deux voies présente une médiane plus élevée de 1,32 μT . Comme le montre la répartition de la répartition des champs, cette valeur élevée n'est toutefois pas due à la proximité de la ligne de chemin de fer (0,6 %), mais résulte de sources internes à la maison dans la chambre à coucher, qui fonctionnent sur le réseau électrique 50 Hz (99,4 %). Pour les quatre sources primaires des mesures à court terme et mobiles, le courant de chemin de fer fournit la plus grande part en pourcentage de la densité de flux magnétique totale. Pour la source primaire "ligne de chemin de fer à deux voies", ce taux atteint presque 100 %. Le modèle de répartition est similaire pour toutes les mesures partielles, sauf pour la mesure effectuée près du tunnel ferroviaire à deux voies lors des mesures de longue durée.

Les immissions dans un appartement situé à proximité d'une ligne de tram présentent une médiane de 0,04 μT pour la *mesure à court terme*. Pour la *mesure mobile*, la médiane s'élève à 0,06 μT et pour la *mesure à long terme* à 0,09 μT . L'histogramme des contributions des sources montre que le tram n'apporte qu'une faible contribution et que le courant alternatif du tram mesuré sur les trois mesures partielles n'est que de 3-4 %. Pour tous les autres immeubles, les contributions dans les bandes de fréquence du courant d'ondulation du tram sont négligeables.

Des valeurs médianes relativement élevées, comprises entre 0,27 et 0,33 μT , ont été mesurées dans les habitations situées à proximité de lignes aériennes de 220/380 kV. Les valeurs maximales mesurées dans cette catégorie se situent entre 1,68 et 2,07 μT . La répartition est influencée de manière déterminante par un immeuble pour lequel des valeurs mesurées supérieures à la valeur limite de l'installation de 1 μT fixée à titre préventif par l'ORNI ont été constatées. Les trois mesures effectuées à proximité de lignes aériennes de 36 à 150 kV se traduisent par des valeurs médianes de 0,16 à 0,18 μT plus faibles que pour les lignes à très haute tension. Les valeurs maximales se situent entre 0,3 et 0,4 μT pour ce groupe de sources. Les valeurs médianes pour cinq mesures effectuées à proximité de lignes aériennes de 1 à 36 kV sont encore une fois environ deux fois plus faibles que les valeurs pour des lignes aériennes de 36 à 150 kV et se situent entre 0,08 et 0,10 μT . Les valeurs médianes pour une habitation située à proximité d'une station de transformation se situent, avec 0,07 à 0,09 μT , dans une fourchette similaire à celle observée à proximité de lignes aériennes de 1-36 kV. En ce qui concerne la répartition de la densité de flux magnétique totale, une image similaire se dessine sur l'ensemble des mesures partielles. Les contributions au champ près des lignes à très haute tension 220/380 kV et près des lignes aériennes 1-36 kV sont proches de 100 % pour toutes les mesures partielles. Les contributions en pourcentage de l'alimentation électrique dominant avec 87-93 % pour la catégorie "ligne aérienne 36-150 kV" et avec 76-88 % pour la station de transformation.

Pour les immeubles qui ne se trouvent pas à proximité d'une source BF, la valeur médiane de la densité de flux magnétique totale est de 0,04-0,05 μT pour toutes les mesures partielles et est donc inférieure à celle de la plupart des sites avec une source primaire BF. Les valeurs maximales peuvent toutefois

être aussi élevées que sur les sites avec une source primaire BF (0,50-1,26 μT). Pour le courant ferroviaire, la contribution à la densité de flux totale se situe entre 31 % et 36 % selon la mesure partielle et les contributions de l'alimentation électrique se situent entre 63 % et 68 %. Les contributions des lignes de tram sont faibles pour les 33 mesures sans source primaire et sont inférieures à 1 %.

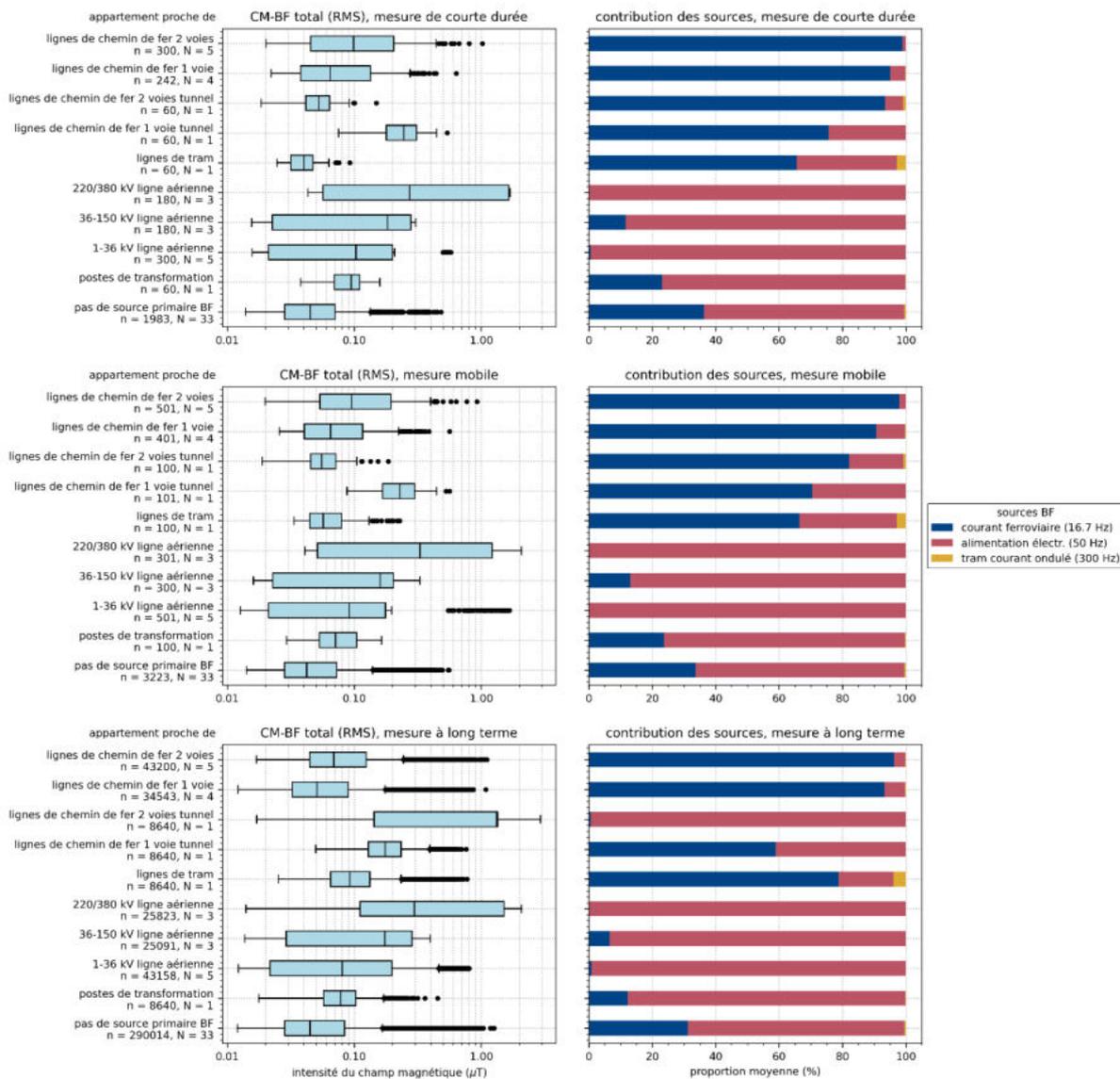


Figure 28: Distribution des valeurs RMS CM-BF des mesures spot calculées avec l'équation (2), regroupées par mesure partielle (mesure de courte durée, mesure mobile et mesure de longue durée) et par source primaire de RF dans les environs du site de mesure. Les immeubles sans source primaire de BF ont été choisis au hasard et représentent l'exposition typique aux CEM en Suisse. La ligne médiane indique la médiane, la bande bleue les 25e et 75e percentiles. Les valeurs extrêmes se situent en dehors de la zone 1,5*IQR (écart interquartile) et sont représentées par des points individuels. Le nombre de points de données utilisés est indiqué par n sous la désignation de la source. Le nombre de mesures effectuées sur des sites utilisant la même source primaire est désigné par N. Sur la droite, la répartition en pourcentage des contributions des sources à la densité de flux totale moyenne est indiquée pour tous les types de sources primaires, voir l'équation (8). Les données statistiques sont présentées dans le Tableau 39 et le Tableau 40.

L'exposition moyenne à la densité de flux magnétique totale à basse fréquence est représentée dans la Figure 29 pour chaque source primaire. Comparée aux valeurs médianes indiquées dans la Figure 28 on obtient un profil similaire. Comme on pouvait s'y attendre, les valeurs moyennes sont légèrement plus élevées que les valeurs médianes. Les valeurs maximales élevées pour la catégorie de sources primaires "lignes aériennes 220/380 kV" sont également visibles dans cette évaluation. D'autres valeurs élevées de la densité de flux magnétique total moyenne apparaissent dans les mesures des catégories lignes de chemin de fer à deux voies avec tunnel (mesures de longue durée uniquement) et des lignes aériennes 1-36 kV (mesures mobiles uniquement). Cela signifie que la densité de flux magnétique totale était majoritairement supérieure à 1 μT lors des mesures correspondantes.

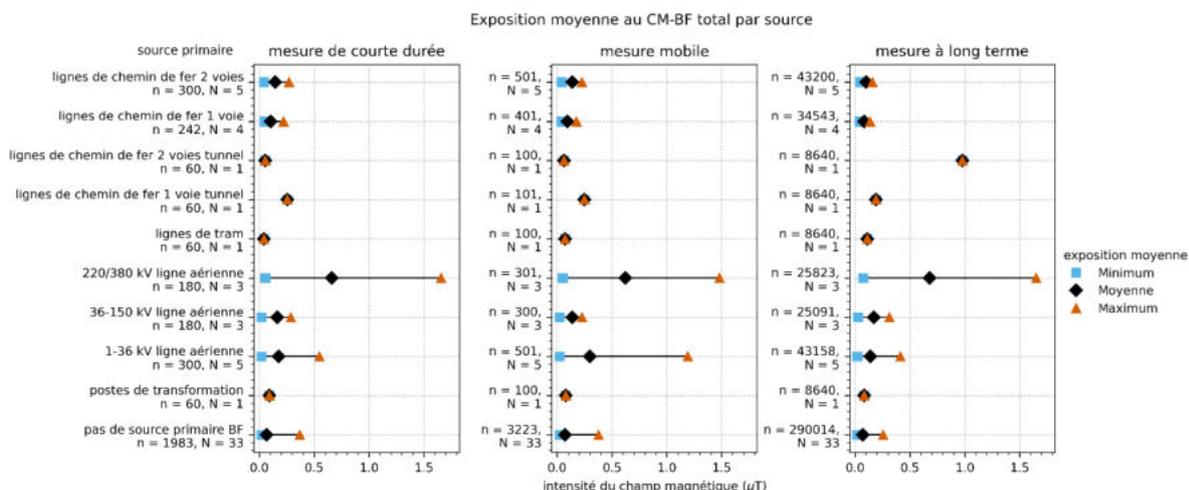


Figure 29 : Fourchette de la densité de flux magnétique totale CM-BF calculée selon l'équation (5) pour chaque source primaire. Le losange indique la moyenne arithmétique de toutes les densités de flux totales appartenant à un type de source, voir équation (10). Les limites gauche et droite indiquent l'intensité la plus faible et la plus élevée de la densité de flux totale. Le nombre de points de mesure est désigné par n et le nombre de mesures de site est exprimé par N. Les données sont présentées dans le Tableau 41 de l'annexe.

3.3 Mesures permanentes stationnaires

L'évaluation des mesures stationnaires permanentes couvre toute la période de l'année 2023 pour les cinq stations de mesure décrites dans le chapitre V.

L'évolution temporelle de l'intensité de champ électrique pour les valeurs RMS et les valeurs de Peak à Neuchâtel est représentée dans la Figure 30. Les interruptions dues aux coupures de courant, aux décharges de batteries et aux ruptures de câbles ainsi que les fenêtres de maintenance entraînent des interruptions dans l'évolution de l'intensité de champ. Les valeurs indiquées dans la Figure 30 et l'annexe s'étendent sur toute l'année 2023. La résolution n'est pas suffisante pour pouvoir identifier des courbes de réponse quotidiennes, mais des fluctuations et notamment des Peaks d'intensité de champ apparaissent clairement sur toute la durée des mesures. Des figures analogues pour les quatre autres sites se trouvent en annexe (Figure 48 - Figure 51). En ce qui concerne la radiodiffusion, toutes les stations de mesure présentent des valeurs de Peak élevées. Celles-ci proviennent de la bande CEM-HF n° 1 utilisée pour la radiodiffusion FM, avec une fréquence centrale de 97,75 MHz et une largeur

de bande enregistrée de 35 MHz, voir Tableau 2. Une explication possible serait la présence indésirable de signaux HF dans le câble de recharge USB. La cause exacte des valeurs de Peak élevées fait encore l'objet de recherche.

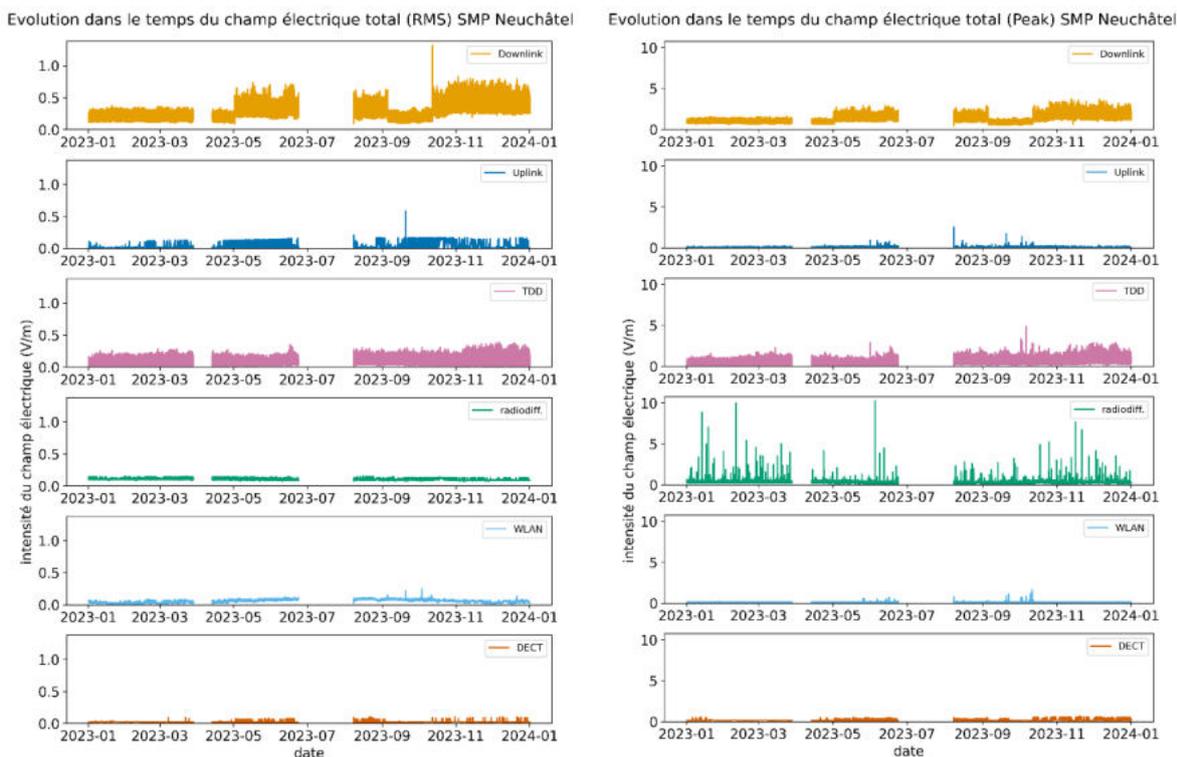


Figure 30: évolution de l'intensité de champ électrique des mesures permanentes stationnaires pour l'année 2023 sur le site G+P de Neuchâtel, regroupée par catégorie de source. La partie gauche du graphique montre les valeurs RMS et la partie droite montre les valeurs de Peak correspondantes. Les courbes d'intensité de champ des autres stations de mesure sont présentées en annexe. V, aux Figure 48 - Figure 51.

La Figure 31 et la Figure 32 montrent la distribution de l'intensité de champ RMS et Peak, pour chaque site. Le nombre de mesures varie légèrement en fonction de la durée de fonctionnement du capteur, mais il est supérieur à 2,5 millions pour tous les sites. Pour la catégorie Downlink, les plus grandes valeurs médianes ont été constatées sur le site de Zürich avec 1,06 V/m (RMS) et 5,25 V/m (Peak). Les valeurs de champ les plus faibles de cette catégorie se trouvent sur le site de Neuchâtel avec 0,24 V/m (RMS) et 1,14 V/m (Peak). Les intensités de champ médianes de Uplink sont également les plus élevées à Zürich, 0,02 V/m (RMS) et 0,08 V/m (Peak). Les contributions de l' Uplink sont donc nettement inférieures aux intensités de champ du Downlink. A Deitingen et Neuchâtel, les intensités de champ Uplink sont particulièrement faibles avec 0,01 V/m (RMS) et 0,03 V/m ou 0,01 V/m (Peak). Dans la catégorie TDD, les intensités de champ RMS s'étendent de 0,04 V/m (RMS) à Deitingen et Neuchâtel à 0,15 V/m (RMS) à Zürich. Les médianes des Peaks vont de 0,36 V/m (Peak) à Neuchâtel à 3,79 V/m (Peak) à Aarau. Les médianes de radiodiffusion RMS enregistrées sont les plus élevées à Aarau avec 0.33 V/m (RMS), suivies par Allschwil 0.32 V/m (RMS), Zürich 0.30 V/m (RMS), Deitingen 0.13 V/m (RMS) et Neuchâtel 0.10 V/m (RMS). Les médianes des Peaks pour la radiodiffusion, classées par ordre décroissant, sont les suivantes : Allschwil 1.4 V/m (peak), Aarau 1.21 V/m (peak), Zürich 1.07 V/m (peak), Deitingen 0.36 V/m (peak) et Neuchâtel 0.27 V/m (peak). Les sources WLAN et DECT se

trouvent normalement à l'intérieur des bâtiments et, par conséquent, les valeurs mesurées sur les cinq sites de mesure extérieurs sont faibles. La médiane de l'intensité de champ RMS est la plus élevée pour le WLAN à Allschwil avec 0,08 V/m (RMS), suivi de Zürich avec 0,07 V/m (RMS). A Deitingen, Aarau et Neuchâtel, les valeurs médianes WLAN sont de 0,06 V/m (RMS). Les valeurs médianes de Peak pour le WLAN sont, par ordre décroissant, les suivantes : Zürich 0,29 V/m (Peak), Deitingen 0,11 V/m (Peak), Allschwil 0,08 V/m (Peak), Neuchâtel 0,06 V/m (Peak), Aarau 0,05 V/m (Peak). Les valeurs d'intensité de champ pour le DECT se situent entre 0.06 V/m (RMS), 0.42 V/m (Peak) à Allschwil et 0.05 V/m (RMS), 0.02 V/m (Peak) à Deitingen.

Répartition de l'intensité de champ électrique (RMS) par catégorie de source

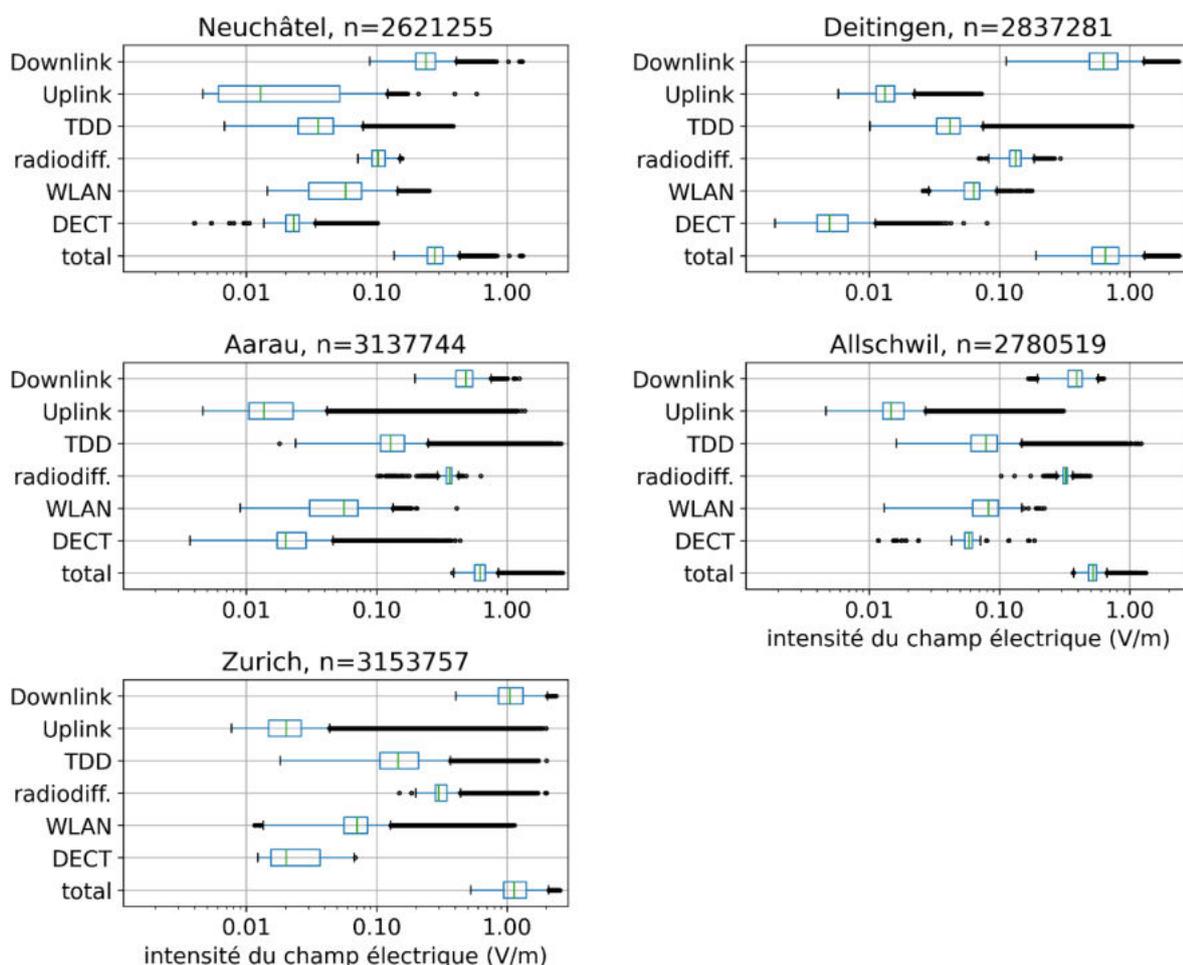


Figure 31: Répartition de l'intensité de champ électrique (RMS) des stations de mesure permanentes par catégorie de source - Downlink, Uplink, TDD (Time Division Duplex), radiodiffusion, WLAN et DECT. L'intensité de champ totale résultant de toutes les catégories est représentée sous Total. Chaque site de mesure est représenté dans un graphique séparé. L'axe logarithmique de l'intensité de champ s'étend sur une zone identique dans tous les graphiques afin de faciliter la comparaison. Le calcul est effectué selon l'équation (4). Le nombre n de mesures effectuées durant l'année 2023 est indiqué dans le titre de chaque graphique, à côté de la désignation du site. Les données statistiques se trouvent dans le Tableau 43 de l'annexe.

La répartition de l'intensité de champ totale, qui résulte de toutes les catégories de service, est représentée à la rangée du bas. Les valeurs médianes RMS de l'intensité de champ totale RMS par ordre décroissant sont : Zürich 1.13 V/m, Deitingen 0.65 V/m, Aarau 0.62 V/m, Allschwil 0.52 V/m, Neuchâtel 0.28 V/m. Les valeurs médianes des Peaks d'intensité de champ totale sont, par ordre décroissant : Zürich 5,96 V/m, Aarau 5 V/m, Deitingen 3,86 V/m, Allschwil 2,76 V/m et Neuchâtel 1,27 V/m.

Répartition de l'intensité de champ électrique (Peak) par catégorie de source

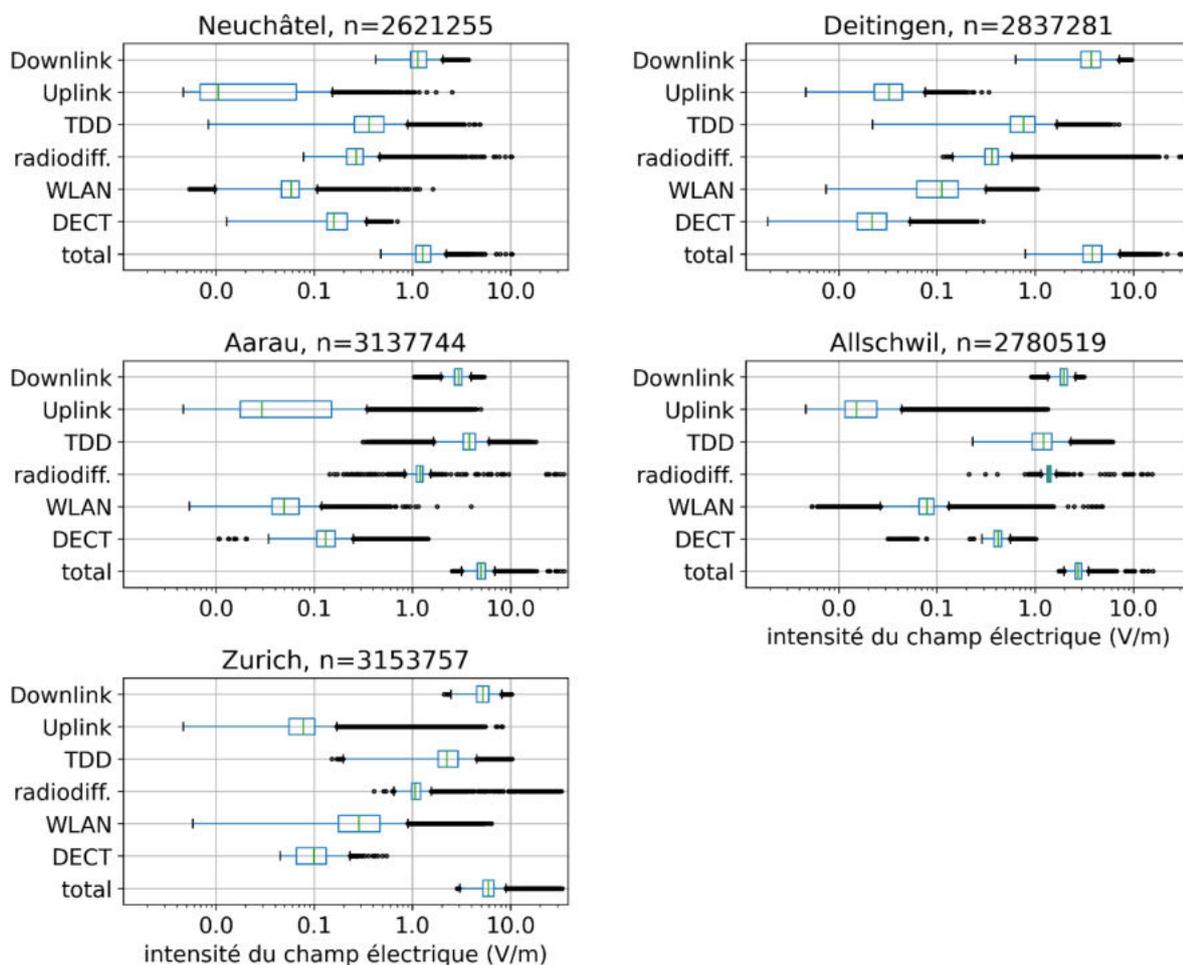


Figure 32: Répartition de l'intensité de champ électrique (PEAK) des stations de mesure permanentes par catégorie de source - Downlink, Uplink, TDD , radiodiffusion, WLAN et DECT. L'intensité de champ totale résultant de toutes les catégories est représentée sous Total. Chaque site de mesure est représenté dans un panneau séparé. L'axe logarithmique de l'intensité de champ s'étend sur une zone identique dans tous les panels afin de faciliter la comparaison. Le calcul est effectué selon l'équation (4). Le nombre n de mesures effectuées durant l'année 2023 est indiqué dans le titre de chaque graphique, à côté de la désignation du site. Les données statistiques se trouvent dans le Tableau 42 de l'annexe.

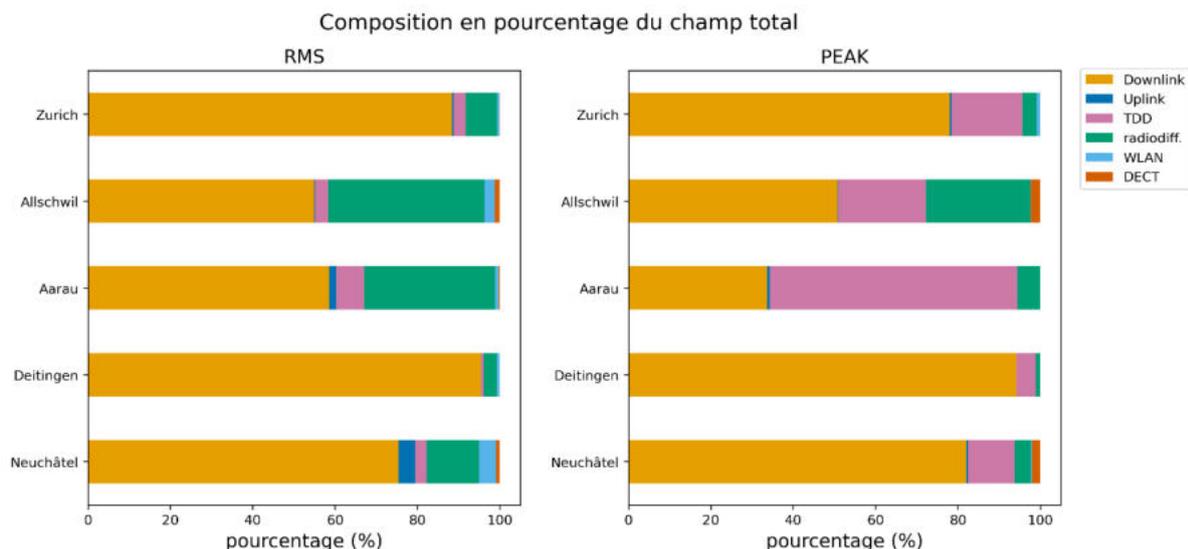


Figure 33: Répartition en pourcentage des services de radiocommunication par rapport à l'intensité de champ totale des stations de mesure permanentes, regroupée par site. Graphique de gauche : répartition RMS. Graphique de droite : pourcentages des valeurs de Peak.

A partir de l'analyse présentée dans la Figure 33, la répartition des sources de l'intensité de champ totale RMS montre que les parts de Downlink représentent plus de la moitié de l'intensité de champ totale pour tous les sites de mesure (55-95 %). La radiodiffusion est la deuxième source la plus importante avec 38 % à Allschwil, 32 % à Aarau, 13 % à Neuchâtel, 8 % à Zürich et 3 % à Deitingen. C'est à Aarau que la part de TDD est la plus élevée, avec 7 %. La contribution WLAN ne dépasse le seuil de 1% qu'à Neuchâtel avec 4 % et à Allschwil avec 3 %. En ce qui concerne les valeurs de Peak, les contributions de champ Downlink sont nettement dominantes à Deitingen avec 94 %, à Neuchâtel avec 82 % et à Zürich avec 78 %. A Allschwil, la part de Peak de Downlink est de 51 %, suivie par la radiodiffusion (25 %) et le TDD (21 %). A Aarau, les Peaks d'intensité de champ TDD sont à l'origine des contributions les plus importantes (60 %), suivies par la Downlink (34 %) et la radiodiffusion (5 %).

La fonction de répartition cumulative de la Figure 34 montre la distribution de l'exposition sur les cinq sites de mesure stationnaires. La station de Zürich présente les valeurs d'intensité de champ les plus élevées sur l'ensemble de la distribution (Min : 0,53 V/m, Max : 2,54 V/m, IQR : 0,46 V/m). La fourchette est la plus grande pour la station de Deitingen (Min : 0,19 V/m, Max : 2,38 V/m, IQR : 0,32 V/m). La station d'Aarau (Min : 0,38 V/m, Max : 2,67 V/m, IQR : 0,12 V/m) présente, au-dessus du quarantième centile, les troisièmes valeurs de distribution les plus élevées et est légèrement plus élevée que la distribution des valeurs RMS d'intensité de champ totale à Allschwil (Min : 0,37 V/m, Max : 1,33 V/m, IQR : 0,08 V/m). Neuchâtel a la distribution d'intensité de champ avec les valeurs les plus basses (Min : 0.14 V/m, Max : 1.32 V/m, IQR : 0.07 V/m).

En ce qui concerne les valeurs de Peak, Zürich présente à nouveau les valeurs de distribution les plus élevées, suivie par Aarau, Deitingen, Allschwil et Neuchâtel.

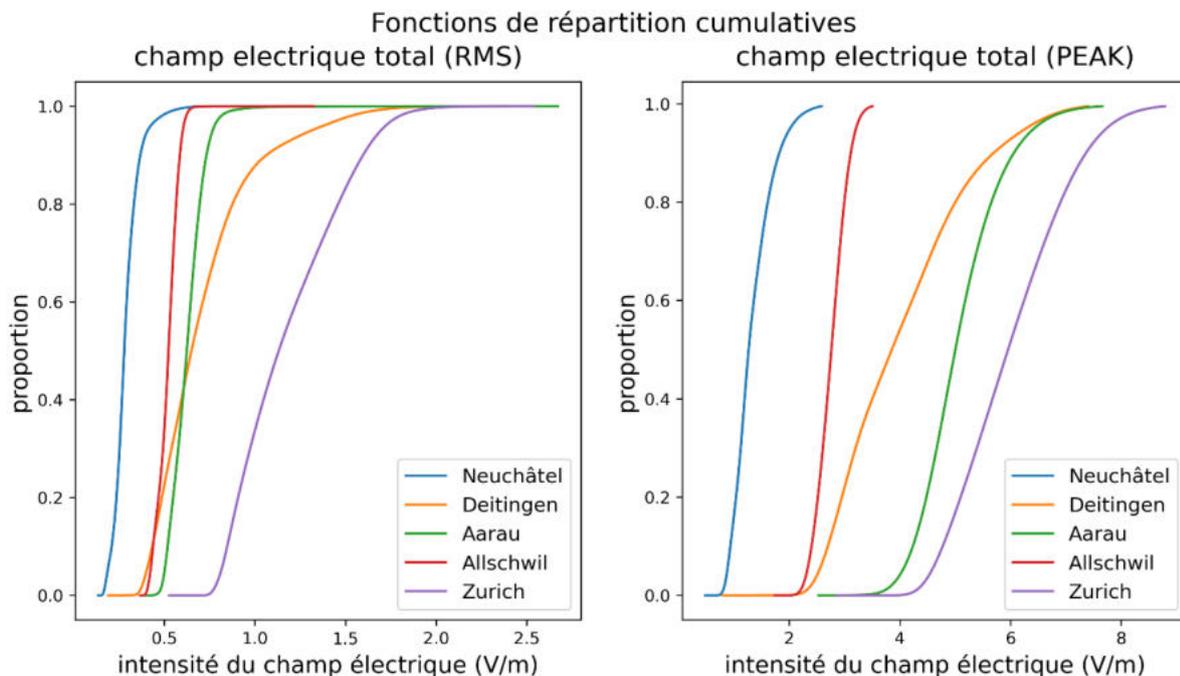


Figure 34: Fonction de répartition cumulative de l'intensité de champ électrique total pour chaque site de mesure stationnaire. A gauche, la distribution de l'intensité de champ totale RMS et à droite, la distribution de l'intensité de champ totale Peak sont représentées. En raison des valeurs élevées dans la bande FM, la distribution cumulative n'est représentée que jusqu'à 99,5 %.

La Figure 35 et Figure 36 montrent la distribution RMS, respectivement Peak, de l'intensité de champ électrique totale agrégée par mois. Pour la station de Neuchâtel, les valeurs RMS médianes se situent entre 0,24 et 0,26 V/m pendant les quatre premiers mois. Ensuite, en mai, juin et août, les valeurs médianes se situent entre 0,28 V/m et 0,30 V/m. En raison d'un défaut de l'appareil, aucune donnée n'est disponible pour le mois de juillet. Les valeurs médianes pour la période de septembre à décembre se situent entre 0,24 V/m et 0,35 V/m. A Deitingen, les valeurs RMS se situent entre 0,70 V/m et 0,80 V/m pendant les cinq premiers mois. Pendant les mois de juin à septembre, les intensités de champ RMS diminuent et se situent entre 0,47 V/m et 0,52 V/m. Ensuite, la médiane mensuelle augmente à nouveau jusqu'à 0,94 V/m. La station d'Aarau présente une très faible variation des valeurs RMS au fil des mois (0,60 V/m à 0,66 V/m). A Allschwil, les variations mensuelles sont également faibles (0,50 V/m à 0,55 V/m). Sur le site de l'ETH à Zürich, les intensités de champ RMS se situent entre 1,11 V/m et 1,23 V/m pendant les six premiers mois de l'année et baissent ensuite pour atteindre entre 1,01 V/m et 1,07 V/m pendant les mois de juillet, août et septembre. Pour les autres mois, les valeurs augmentent à nouveau et se situent entre 1,13 V/m et 1,22 V/m. Les valeurs d'intensité de champ de Peak présentent des modèles saisonniers similaires.

Répartition du champ électrique total par mois (RMS)

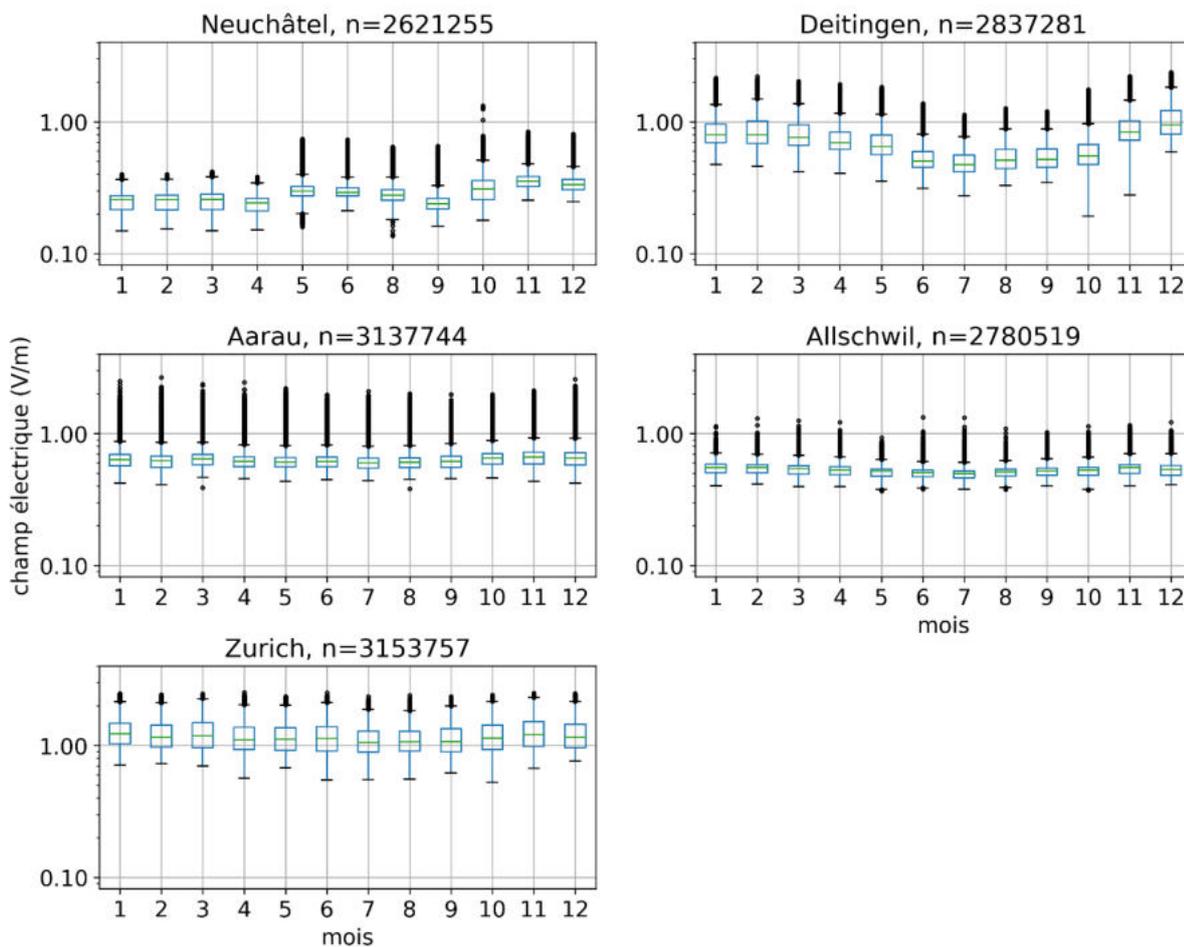


Figure 35: Distribution de l'intensité de champ électrique totale RMS par mois. Les différents panels montrent les distributions des sites stationnaires. n indique le nombre de mesures de chaque station en 2023. Pour faciliter la comparaison, les ordonnées s'étendent sur une plage de valeurs identiques.

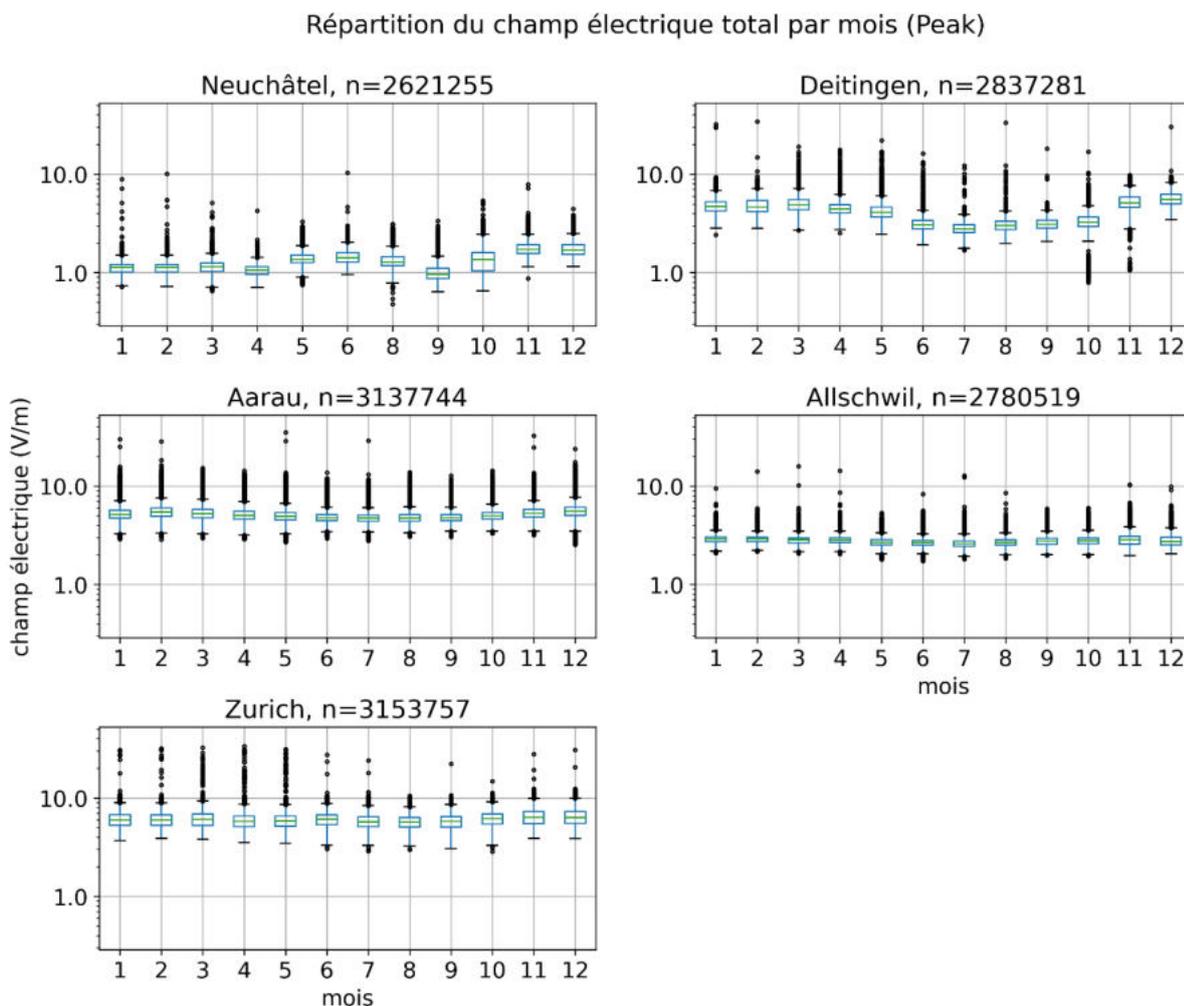


Figure 36: Distribution de l'intensité de champ électrique total de Peak par mois. Les différents panels montrent les distributions des sites stationnaires. n indique le nombre de mesures de chaque station en 2023. Pour faciliter la comparaison, les ordonnées s'étendent sur une plage de valeurs identiques.

Comme les stations de mesure permanentes sont toutes situées à proximité d'antennes de téléphonie mobile, voir figures Figure 43 à Figure 47 en annexe, il est possible d'étudier la répartition de l'intensité de champ électrique des bandes de fréquence de la téléphonie mobile en fonction du temps. La Figure 37 (RMS) et la Figure 38 (Peak) montrent les bandes de fréquences agrégées par mois et leur contribution en pourcentage à l'intensité totale du champ de téléphonie mobile au cours du mois correspondant. Ce type d'analyse permet d'identifier les activations et désactivations de services de téléphonie mobile, ainsi que le déplacement de la puissance d'émission vers d'autres bandes de fréquences à proximité immédiate des sites de mesure.

Composition des champ électriques des bandes de fréquences téléphonie mobile (RMS)

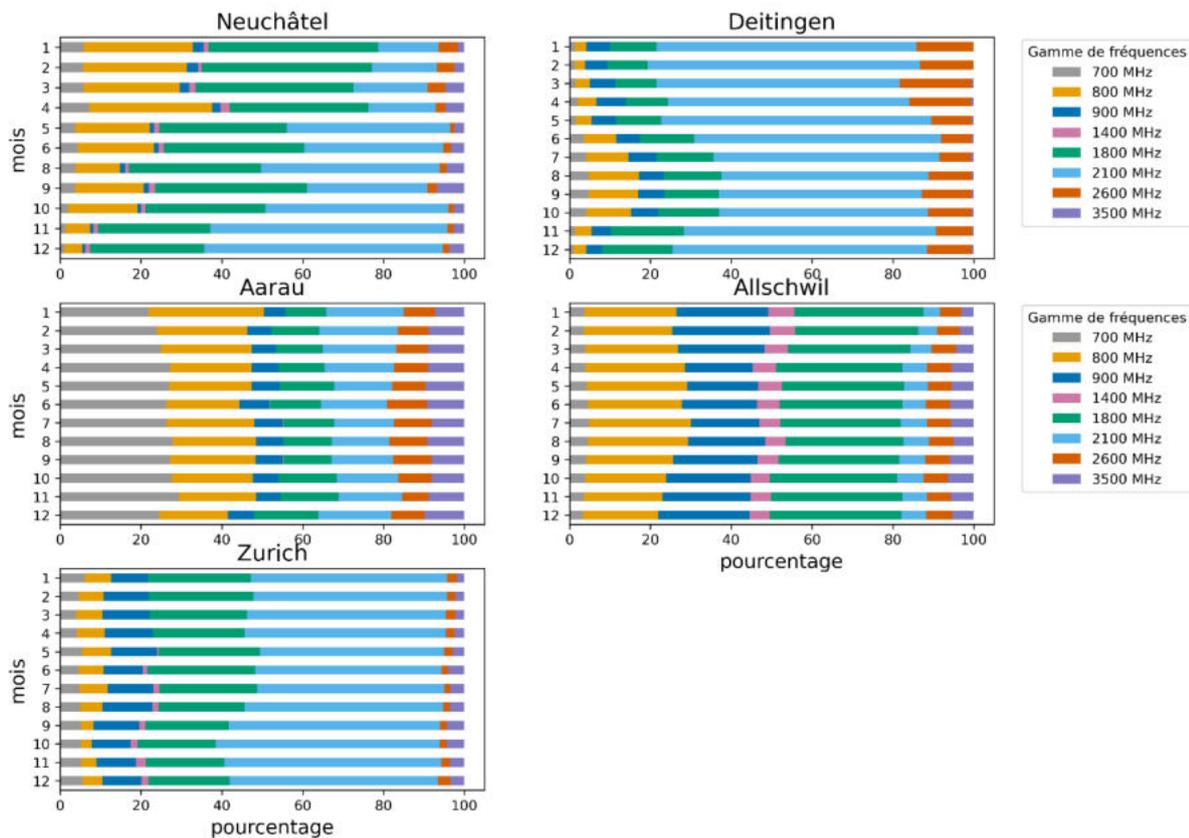


Figure 37: Contributions en pourcentage des bandes de fréquences de téléphonie mobile à l'intensité de champ totale (RMS) causée par la téléphonie mobile, agrégées par mois.

Composition des champ électrique des bandes de fréquences téléphonie mobile (PEAK)

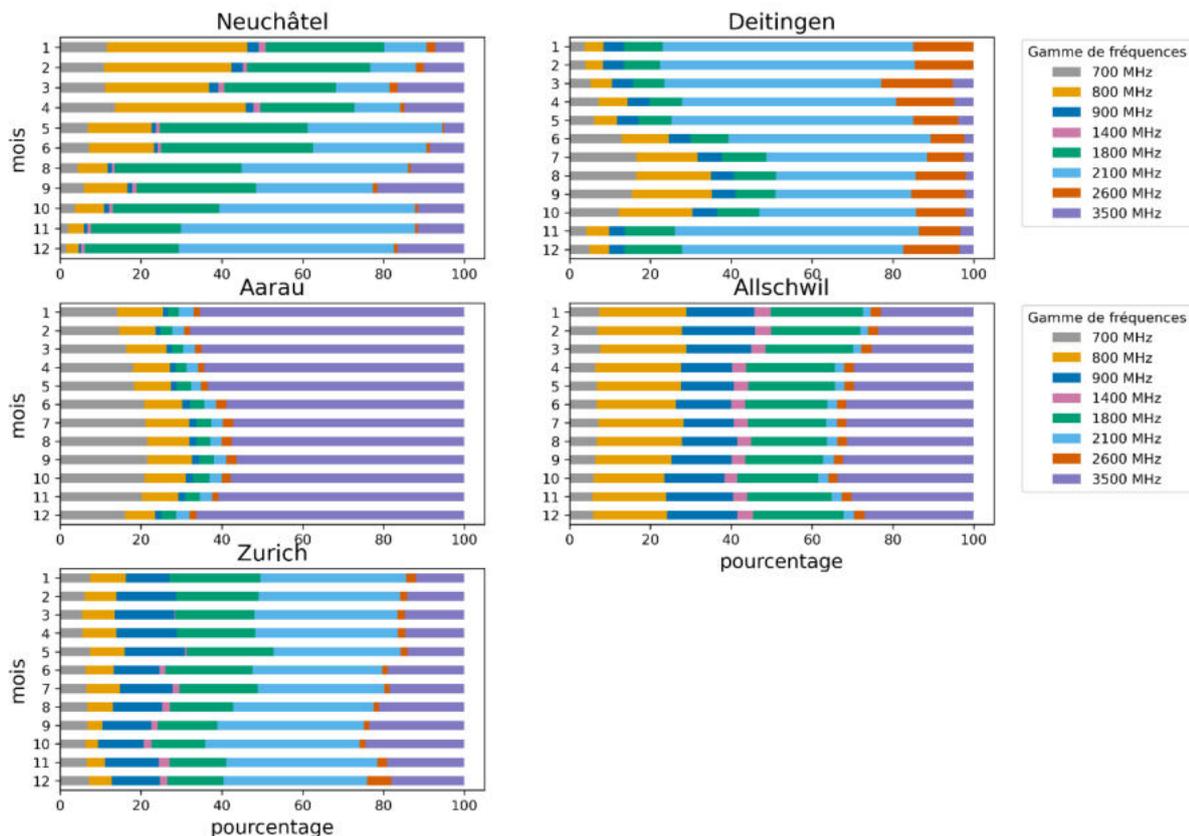


Figure 38: Contributions en pourcentage des bandes de fréquences de téléphonie mobile à l'intensité de champ totale (Peak) causée par la téléphonie mobile, agrégées par mois.

La Figure 39 et la Figure 41 montrent la distribution des valeurs RMS ou des valeurs de Peak pour chaque heure de la journée en 2023. Les variations journalières en fonction du site sont plus clairement visibles dans la Figure 40 et la Figure 42 avec les valeurs médianes par heure dans une représentation non logarithmique. Le minimum se produit à 4:00 pour tous les sites, le maximum à 21:00 ou 22:00, sauf à Zürich à 12:00.

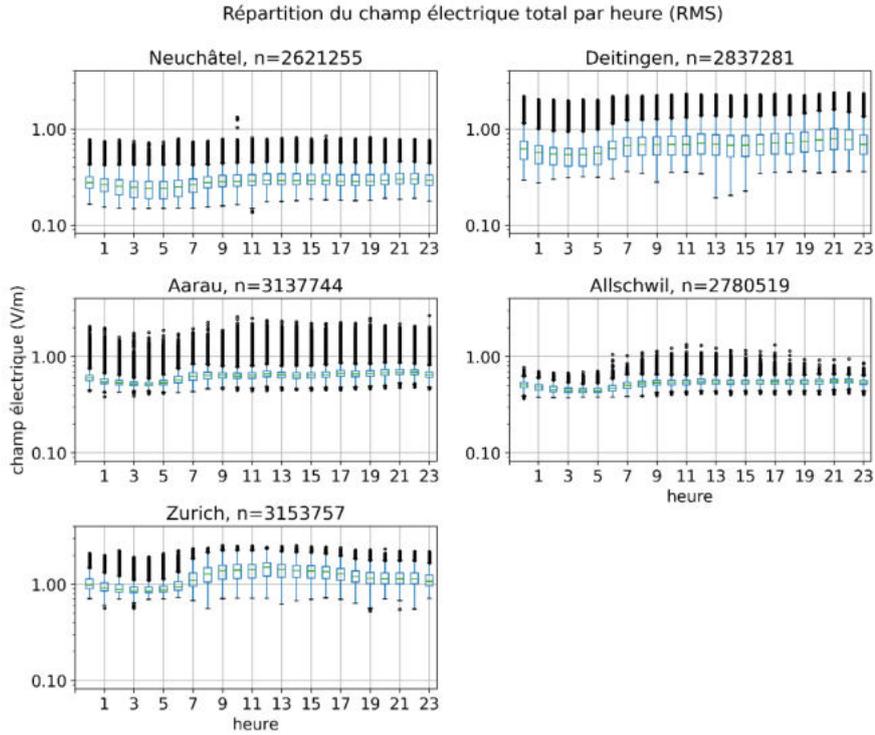


Figure 39: Distribution de l'intensité totale du champ électrique RMS par heure. Le premier intervalle est désigné par 0 heure et couvre la période de temps sur l'intervalle ouvert à droite [00:00, 01:00), tandis que le deuxième intervalle de temps 1 couvre la plage de temps de [01:00-02:00), etc. Les axes d'intensité de champ s'étendent sur une page identique.

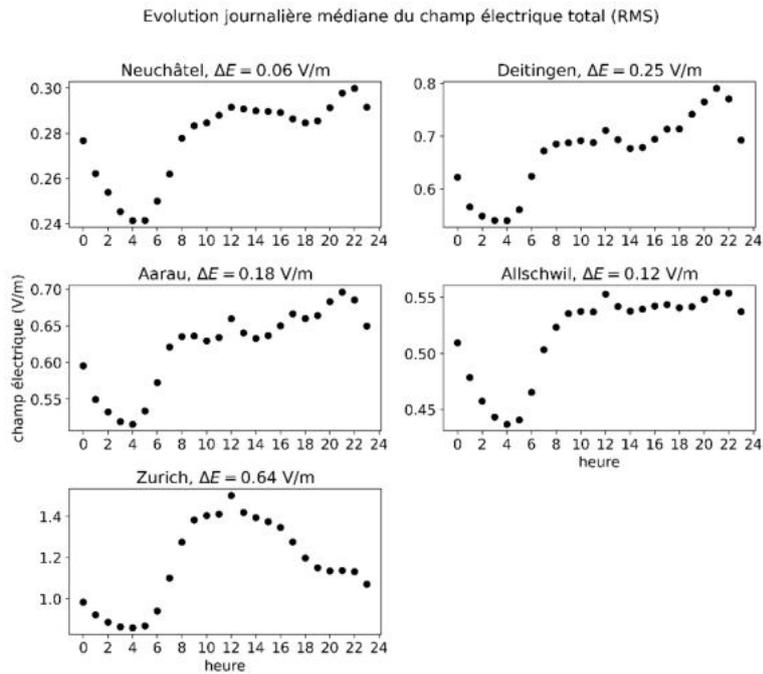


Figure 40: évolution journalière des valeurs médianes de Figure 39. Afin de rendre plus visibles les évolutions temporelles des valeurs médianes, les axes des intensités de champ présentent des plages de valeurs différentes. La variation journalière maximale des valeurs médianes est donnée par la valeur ΔE .

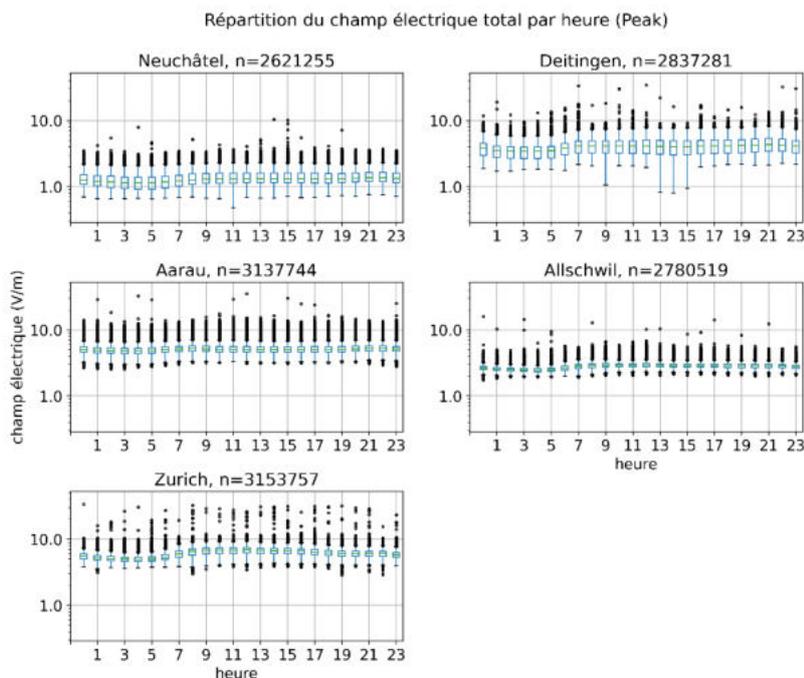


Figure 41: Distribution de l'intensité totale du champ électrique de Peak par heure. Le premier intervalle est désigné par 0 heure et couvre la période de temps sur l'intervalle ouvert à droite [00:00, 01:00), tandis que le deuxième intervalle de temps 1 couvre la période de temps de [01:00-02:00), etc. Les axes d'intensité de champ s'étendent sur une plage identique.

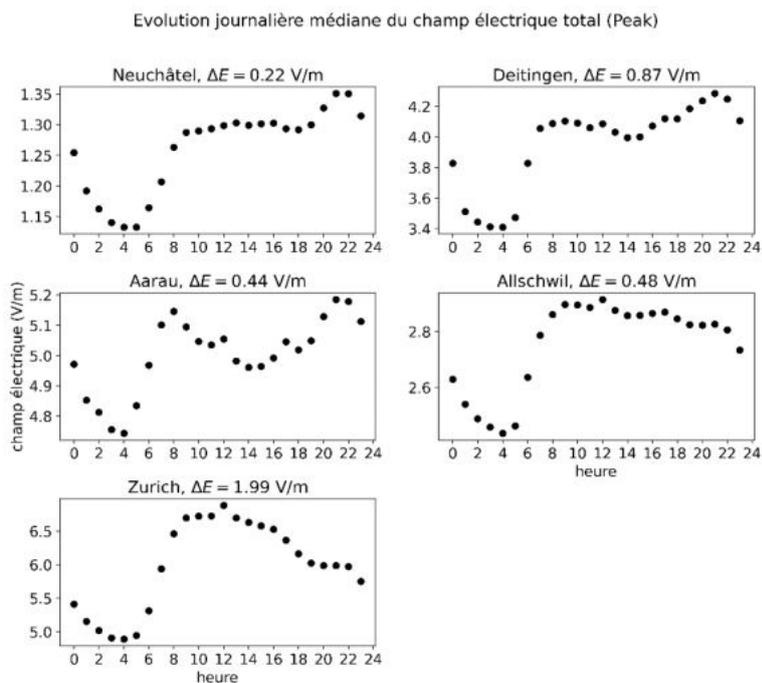


Figure 42: évolution journalière des valeurs médianes de Figure 41. Afin de rendre plus visibles les évolutions temporelles des valeurs médianes, les axes des intensités de champ présentent des plages de valeurs différentes. La variation journalière maximale des valeurs médianes est donnée par la valeur ΔE .

4. Discussion et conclusions

L'objectif principal de ce rapport annuel est de décrire les mesures effectuées dans le cadre du suivi de l'exposition au RNI en Suisse. Pour les mesures d'itinéraires, les données du premier cycle de mesure sont présentées pour un total de 300 microenvironnements, 188 espaces publics et de nombreux moyens de transport public, collectées entre juillet 2021 et juin 2023. De plus, les mesures d'itinéraires dans 75 microenvironnements, 43 espaces publics et de nombreux transports en commun, déjà analysées dans le rapport annuel 2021 [2], sont comparées aux données collectées dans les mêmes environnements de mesure au cours du second semestre 2023. Une analyse approfondie est présentée pour toutes les mesures effectuées dans les écoles. En ce qui concerne les mesures ponctuelles, les données présentées dans ce rapport annuel concernent 57 immeubles qui ont été mesurés entre 2021 et janvier 2024. Pour la première fois, des résultats sélectionnés à titre d'exemple sont présentés pour les cinq sites de mesures permanentes.

4.1 Mesures d'itinéraires

4.1.1 Premier cycle de mesure achevé des mesures d'itinéraires

Lors du premier cycle achevé des mesures d'itinéraires, les valeurs médianes des CEM-HF (RMS) pour les microenvironnements vont de 0,07 V/m dans les zones naturelles à 0,30 V/m dans les zones industrielles (Figure 9). Les valeurs médianes des CEM-HF (RMS) ont tendance à augmenter avec l'urbanisation. Le 95e percentile (Q95) le plus élevé se situe à 0,83 V/m dans les zones industrielles. Dans les espaces publics, les valeurs médianes des CEM-HF (RMS) vont de 0,08 V/m dans les supermarchés à 0,48 V/m dans les aéroports. Les arrêts de transports publics présentent des valeurs médianes plus élevées (HF : 0,29 - 0,39 V/m) que les lieux à l'intérieur des bâtiments, comme les supermarchés, les écoles ou les bibliothèques (HF : 0,08 - 0,12 V/m). A l'intérieur, les émissions des antennes de téléphonie mobile sont atténuées. Dans les transports publics, les valeurs médianes des CEM-HF (RMS) vont de 0,09 V/m dans les téléphériques à 0,24 V/m dans le métro et les trains. Les valeurs rapportées sont comparables aux résultats d'études menées à l'étranger [9-11].

En ce qui concerne les CM-BF, les valeurs médianes (RMS) dans les microenvironnements vont de 0,02 μ T dans les zones naturelles à 0,19 μ T dans les centres-villes (Figure 13). Les valeurs médianes de la CM-BF (RMS) augmentent généralement avec l'urbanisation. Les Peaks les plus élevés ont toutefois été observés dans les zones industrielles. Le 95e percentile (Q95) est de 0,77 μ T. Cela s'explique par une mesure effectuée à proximité d'une centrale électrique (avec une exposition moyenne maximale aux CM-BF : 1,48 μ T), où passent plusieurs lignes à haute tension. Dans les espaces publics, les valeurs médianes des CM-BF (RMS) vont de 0,02 μ T dans les aéroports à 0,38 μ T dans les gares. Dans les transports publics, les valeurs médianes des CM-BF (RMS) vont de 0,02 μ T dans les téléphériques à 0,44 μ T dans les trains. Les valeurs de Peak (95e percentile) sont également les plus élevées dans les trains (5,28 μ T) et les gares (3,36 μ T). La comparabilité des mesures de BF avec les données internationales est limitée en raison du faible nombre d'études sur ce sujet.

La valeur limite d'immissions a été épuisée au maximum à 13% et 6% respectivement lors des mesures BF et HF.

4.1.2 Mesures dans les écoles

Les évaluations complémentaires comprenaient les résultats de 28 mesures de BF et de HF dans neuf écoles (trois écoles primaires, quatre écoles secondaires, deux lycées). Les mesures ont été effectuées dans les cours de récréation intérieures et extérieures ainsi que dans les couloirs, là où cela était possible. Aucune mesure spécifique n'a été effectuée dans les salles de classe afin de ne pas perturber les cours. L'exposition mesurée dans les écoles se situe nettement en dessous des valeurs limites.

En comparaison avec d'autres mesures effectuées dans l'espace public, la charge moyenne de CEM-HF dans les écoles se situe à un niveau bas, soit 0,16 V/m (Figure 16). La fourchette de la charge moyenne dans les écoles coïncide avec la charge dans le domaine public. Dans les "cours de récréation - extérieures", la majeure partie de la charge provient des installations de téléphonie mobile (Downlink : 71-84%), mais à un niveau bas. A l'intérieur du bâtiment, la charge totale est encore réduite, la majeure partie de la charge provenant alors du WLAN (36%). Pendant les pauses, la part de rayonnement due aux téléphones portables augmente légèrement (Uplink : 20%). Une valeur moyenne maximale de la charge HF (RMS : 0,87 V/m) est atteinte dans une "cour - extérieure" située à proximité d'une grande gare, tandis qu'à l'intérieur de cette école, la charge moyenne est de 0,15 V/m.

Les niveaux de CEM-HF mesurés dans les écoles sont similaires à ceux d'autres études internationales. Dans le cadre de l'étude SCAMP [12] des mesures de CEM-HF personnelles ont été effectuées chez 188 jeunes de Londres entre 2015 et 2018. Dans cette étude, les valeurs médianes de l'exposition aux CEM-HF dans les écoles étaient de 0,19 V/m. Cela correspond aux valeurs médianes les plus élevées mesurées ici dans la "cour - extérieure avec des élèves" (médiane RMS : 0,12 V/m). Dans 102 écoles primaires d'Amsterdam [13] une exposition moyenne de 0,16 V/m a été mesurée dans des salles de classe sans élèves. Ce résultat se situe entre nos mesures dans la "cour - intérieure avec des élèves" (RMS-HF : 0.15 V/m) et dans la "cour - extérieure avec des élèves" (RMS HF : 0.23 V/m).

En comparaison avec d'autres mesures effectuées dans le domaine public, l'exposition moyenne aux BF dans les écoles se situe à un niveau bas de 0,13 μ T (Figure 17). La fourchette de l'exposition moyenne dans les écoles coïncide avec l'exposition dans le domaine public. Une valeur moyenne maximale de l'exposition aux BF (RMS : 0,91 μ T) est atteinte dans une "cour - extérieure" située à proximité d'une grande gare ; à l'intérieur de cette école, l'exposition moyenne se situe entre 0,56 et 0,71 μ T. Il existe peu d'études sur l'exposition aux CM-BF dans les écoles. Les expositions mesurées dans le cadre du monitoring du RNI sont plus élevées que dans une étude espagnole [14] où une moyenne de 0,015 μ T et 0,017 μ T a été mesurée dans 26 écoles, respectivement dans la cour de récréation et dans les salles de classe.

4.1.3 Comparaison 2021/2023 pour les mesures d'itinéraires

Les mesures d'itinéraires ont été répétées en 2021 et 2023 dans les mêmes 75 microenvironnements et 43 espaces publics, à la même heure de la journée (+- une heure) et à la même saison (+- une semaine). Les comparaisons pour chaque environnement de mesure sont présentées dans la Figure 18 et la Figure 21. En résumé, le Tableau 32 présente les valeurs médianes et moyennes pour tous les microenvironnements, les espaces publics et les transports en commun.

L'exposition totale médiane aux HF dans les microenvironnements et les espaces publics est restée relativement constante au cours des deux années (0,13 - 0,14 V/m), alors qu'elle a légèrement augmenté dans les transports publics (2021 : 0,21 V/m, 2023 : 0,27 V/m). Les valeurs de Peak n'ont que

peu augmenté dans les microenvironnements (2021 : 0,60 V/m, 2023 : 0,65 V/m), et un peu plus dans les espaces publics (2021 : 0,67 V/m, 2023 : 0,94 V/m) et dans les transports (2021 : 1,26 V/m, 2023 : 1,78 V/m). En ce qui concerne les moyennes RMS, plus sensibles aux valeurs élevées, l'exposition totale aux CEM-HF a peu augmenté dans les microenvironnements (2021 : 0,27 V/m, 2023 : 0,28 V/m) et un peu plus nettement dans les espaces publics (2021 : 0,29 V/m, 2023 : 0,35 V/m) et dans les transports (2021 : 0,32 V/m, 2023 : 0,41 V/m). Comme pour les valeurs RMS, on constate également une augmentation plus forte des valeurs de Peak moyennes par rapport aux valeurs médianes, en particulier dans les transports (2021 : 1.97 V/m, 2023 : 3.01 V/m). En résumé, dans les lieux où la téléphonie mobile est très utilisée, l'exposition aux CEM-HF a légèrement augmenté entre 2021 et 2023, tandis que dans les zones rurales et les lieux où l'utilisation est plus faible, il n'y a pas eu de changement notable. La tendance à l'augmentation de l'exposition aux CEM-HF entre 2021 et 2023 est principalement due aux TDD liés à l'utilisation de la 5G. L'exposition aux TDD est la principale source d'exposition dans les transports publics en 2023, si l'on considère les valeurs de Peak moyennes (2021 : 0,64 V/m, 2023 : 2,17 V/m), et est la deuxième source d'exposition pour les valeurs RMS moyennes (2021 : 0,05 V/m, 2023 : 0,21 V/m). Les valeurs RMS moyennes TDD ont augmenté dans une moindre mesure dans les microenvironnements et les espaces publics. En revanche, les valeurs médianes TDD pour les valeurs RMS ($< 0,01$ V/m) et les valeurs de Peak ($< 0,07$ V/m) restent faibles pour toutes les mesures en 2021 et 2023. L'exposition au Downlink reste la principale contribution à l'exposition dans les microenvironnements et les espaces publics. Les valeurs RMS-médianes de la Downlink sont similaires dans les microenvironnements (0,09 V/m), dans les espaces publics (0,10 V/m) et dans les transports (0,08 - 0,09 V/m). Les valeurs médianes de Peak du Downlink ont légèrement augmenté dans les microenvironnements (2021 : 0,45 V/m, 2023 : 0,49 V/m) et dans les espaces publics (2021 : 0,49 V/m, 2023 : 0,52 V/m) au cours des deux années, alors qu'elles ont légèrement diminué dans les moyens de transport (2021 : 0,48 V/m, 2023 : 0,39 V/m). On peut donc en déduire que dans les transports, une partie du Downlink a été remplacée par le TDD, puisque celui-ci est passé de 1,26 V/m à 1,78 V/m en même temps.

La part d'exposition de l'Uplink est faible dans les microenvironnements. La principale source de RNI dans les transports publics est constituée par les autres passagers qui utilisent leur téléphone, ce qui explique la part élevée de Uplink et de TDD. En ce qui concerne les mesures TDD, il convient de noter qu'il n'est pas possible de faire la distinction entre les immissions des téléphones mobiles et celles des stations de base, étant donné que les deux sont émises sur la même fréquence. On peut toutefois supposer que les proportions sont similaires au rapport entre Uplink et Downlink. Cela signifierait que dans les trains, la majeure partie des immissions TDD provient des téléphones mobiles, tandis que dans les espaces publics et à l'extérieur (microenvironnements), la majeure partie provient des stations de base de téléphonie mobile. Il convient de noter que pendant la mesure, le téléphone portable du technicien de mesure était en mode veille. Les voyageurs utilisant un téléphone portable sont donc plus exposés aux téléphones portables que ce qui est indiqué par le protocole de mesure utilisé.

En ce qui concerne les valeurs RMS moyennes dans les transports publics, la contribution principale en 2023 provenait de l'Uplink (2021 : 0,19 V/m, 2023 : 0,26 V/m), suivie du TDD (2021 : 0,05 V/m, 2023 : 0,21 V/m). En ce qui concerne les valeurs de Peak moyennes, la principale contribution en 2023 provient du TDD (2021 : 0,64 V/m, 2023 : 2,17 V/m) suivi de l'Uplink. L'exposition moyenne RMS WLAN est aussi faible en 2021 ($< 0,07$ V/m) et en 2023 ($< 0,13$ V/m) dans tous les environnements de mesure. Les valeurs de Peak WLAN médianes dans les transports publics ont augmenté de 0,29 V/m en 2021 à 0,41 V/m en 2023, ce qui serait compatible avec une augmentation de l'utilisation des hotspots dans

les trains. Les niveaux d'exposition à la radiodiffusion et au DECT n'ont pas changé de manière significative entre 2021 et 2023. La radiodiffusion reste, après la Downlink, la deuxième source d'exposition la plus importante dans les microenvironnements, avec une valeur RMS médiane de 0,09 V/m.

4.2 Mesures spot

Les mesures dans les habitations portent sur les niveaux d'exposition aux CEM-HF et aux CM-BF auxquels les riverains vivant à proximité de sources externes de CEM sont exposés dans leur habitation (sites avec une source primaire) ou sur les niveaux typiques sans proximité de source (sites sans source primaire). Les mesures sont volontairement effectuées dans des endroits du logement où les personnes séjournent pendant une période prolongée. Pour que les distributions représentent des valeurs de l'exposition attendue dans les habitations, un nombre suffisamment important de mesures est nécessaire pour chaque type de source primaire. Ce n'est pas encore le cas pour toutes les données disponibles jusqu'en mars 2024. Par rapport aux données du rapport 2022, la représentation est améliorée avec de nouveaux points de mesure. Les mesures CEM-HF à proximité d'émetteurs radio/TV présentent désormais un ensemble de données de quatre mesures (N=4). Cependant, pour les mesures BF, il existe toujours des catégories avec moins de quatre mesures. Les résultats de cette source primaire ne fournissent donc pas encore de valeurs représentatives de l'exposition attendue et ne sont pas pris en compte dans la discussion qui suit. Avec une taille d'échantillon aussi petite, les distributions peuvent être fortement influencées par les conditions des différents sites de mesure. Des données plus robustes sur la distribution de l'exposition dans les différents logements sont alors attendues, au fur et à mesure de la progression du monitoring.

4.2.1 Exposition aux HF

Les valeurs médianes des CEM-HF (RMS) se situent entre 0,15 V/m (pas de source primaire HF) et 0,40 V/m (à proximité d'émetteurs de radiodiffusion) pour les mesures à court terme. Pour les mesures mobiles, les valeurs médianes correspondantes se situent entre 0,09 et 0,27 V/m et pour les mesures à long terme entre 0,08 et 0,35 V/m. Les valeurs de CEM-HF (RMS) les plus élevées mesurées dans un logement sont de 1,05 V/m (pas de source primaire de CEM-HF) et de 1,23 V/m (proximité de la téléphonie mobile) pour les mesures à court terme ou de 1,13 V/m (pas de source primaire de CEM-HF) et de 2,21 V/m (radiodiffusion) pour les mesures mobiles et de 1,10 V/m (radiodiffusion) et de 1,79 V/m (téléphonie mobile) pour les mesures à long terme. Dans l'étude SCAMP de Londres mentionnée ci-dessus, la médiane de toutes les mesures personnelles à domicile était de 0,12 V/m et la valeur moyenne la plus élevée d'un participant à l'étude était d'environ 2,0 V/m [12]. Dans une étude de mesure personnelle européenne, la médiane de toutes les mesures à domicile était de 0,12 V/m au Danemark, de 0,10 V/m aux Pays-Bas, de 0,10 V/m en Slovaquie, de 0,08 V/m en Suisse et de 0,10 V/m à 0,22 V/m dans différentes provinces d'Espagne [19]. Une revue systématique de la littérature de toutes les études de mesure menées en Europe jusqu'en 2015 a trouvé une exposition moyenne de 0,24 V/m pour les mesures de courte durée à domicile et une exposition moyenne de 0,16 V/m pour les mesures personnelles [10]. Une étude de suivi avec des publications de 2015 à 2018, sur onze études de mesure, l'exposition moyenne dans les locaux privés se situait entre 0,04 V/m et 0,24 V/m [9]. Les valeurs d'exposition dans les études internationales se situent donc dans une fourchette similaire à celle du monitoring de l'exposition au RNI en Suisse.

Lors des *mesures de courte durée* dans des pièces où l'on reste longtemps, les valeurs de mesure CEM-HF sont généralement plus basses qu'à l'extérieur lors des mesures d'itinéraires. Cela s'explique en premier lieu par le blindage assuré par la structure du bâtiment. Les fréquences de la téléphonie mobile (Downlink) sont plus atténuées par le bâtiment que les fréquences plus basses de la radiodiffusion. Pour les habitations sans source primaire de CEM-HF, les valeurs médianes RMS des CEM-HF (0,15 V/m) ne sont que légèrement inférieures à celles des lieux choisis en raison de leur proximité avec une station de base de téléphonie mobile (0,17 V/m). Cependant, la variabilité de l'exposition est plus élevée pour ces dernières. Ainsi, le Tableau 33 montre que l'écart interquartile pour les environnements de mesure à proximité de stations de téléphonie mobile (0,22 V/m) est nettement plus élevé que celui de 0,11 V/m en l'absence de sources primaires de HF. Le 95e percentile est également plus élevé (0,62 V/m) que pour les sites choisis au hasard par rapport à la téléphonie mobile (0,30 V/m). La même tendance est obtenue pour les *mesures mobiles* dans les habitations. La valeur médiane RMS pour les lieux où la téléphonie mobile est la source primaire est de 0,14 V/m et de 0,09 V/m pour la catégorie "pas de source primaire HF". Les distances interquartiles diffèrent également avec 0,18 V/m ("téléphonie mobile") et 0,11 V/m ("pas de source primaire HF"). Lors des *mesures de longue durée sur 24 heures*, ces différences sont également visibles au niveau des valeurs RMS médianes avec 0,16 V/m ("téléphonie mobile") ou 0,08 V/m ("pas de source primaire HF") et des distances interquartiles (0,22 V/m pour les habitations situées à proximité d'une station de téléphonie mobile et avec 0,10 V/m en l'absence de source primaire HF). Cela montre que, par rapport à l'absence d'une source primaire HF, les habitations situées à proximité d'antennes de téléphonie mobile sont plus susceptibles d'être exposées à des niveaux élevés, mais que ce n'est pas toujours le cas. L'exposition mesurée dans les habitations dépend de l'atténuation du bâtiment, de la distance à la source, de l'atténuation due aux obstacles, de la puissance d'émission effective, des caractéristiques de rayonnement de la station de base de téléphonie mobile située à proximité ainsi que de la disposition spatiale du lieu de mesure par rapport à la source. La présence d'une source de téléphonie mobile n'entraîne donc pas nécessairement une forte exposition dans le LUS, mais peut se traduire par une situation d'exposition supérieure en cas de combinaison défavorable des facteurs susmentionnés. En résumé, on peut retenir que pour la source primaire "téléphonie mobile", le Downlink contribue de manière déterminante à l'intensité de champ totale, suivi de la catégorie radiodiffusion et, pour les mesures de courte durée effectuées le plus souvent dans le salon, également du WLAN.

Les valeurs médianes RMS des services de radiodiffusion (0,27-0,40 V/m) à proximité des émetteurs de radiodiffusion sont, pour toutes les mesures partielles, nettement supérieures aux valeurs médianes pour la téléphonie mobile et les lieux de mesure sans source primaire. L'écart interquartile est plus élevé que pour les deux autres catégories. Les expositions systématiquement plus élevées à proximité des émetteurs de radiodiffusion s'expliquent probablement principalement par le comportement de rayonnement plus homogène des émetteurs de radiodiffusion par rapport aux stations de base de téléphonie mobile et par l'atténuation plus faible des bâtiments pour ce type de RNI. Ainsi, dans les immeubles situés à proximité d'émetteurs de radiodiffusion, la catégorie de service correspondante contribue principalement à l'intensité de champ totale (86-97 %). Ce n'est que lors de mesures de courte durée dans le salon que le WLAN contribue à l'intensité de champ totale à hauteur de 13 %.

En l'absence de sources HF primaires, la répartition du champ total CEM-HF varie davantage, mais est également dominée par la Downlink, la radiodiffusion et le WLAN.

Lors des mesures de longue durée dans la chambre à coucher, le WLAN ne contribue en moyenne que faiblement. Lors de la mesure mobile, différentes pièces de l'immeuble sont traversées, ce qui entraîne une couverture WLAN et DECT plus ou moins marquée, mais globalement plus faible que lors de la mesure à court terme. Cela s'explique probablement par le fait que les points d'accès WLAN et les téléphones DECT sont principalement placés dans des pièces où l'on séjourne souvent et longtemps, en raison de l'emplacement des prises de courant et du raccordement téléphonique, et non dans la chambre à coucher. Cela explique aussi en partie les valeurs de mesure CEM-HF plus élevées lors des mesures de courte durée par rapport aux mesures mobiles et de longue durée. Pour les mesures mobiles, il convient de noter que l'exposition est sous-estimée d'environ 10 % en raison du blindage corporel (voir ci-dessous). L'Uplink et le TDD contribuent à moins de 2 % de l'intensité de champ totale pour toutes les mesures partielles et pour tous les types d'environnement de mesure. Cela est sans doute dû au fait que les techniciens de mesure n'ont pas utilisé de téléphones mobiles pendant la réalisation des mesures. Toutefois, l'utilisation des téléphones portables par les habitants n'est pas limitée pendant les mesures.

Pour les valeurs de Peak, l'image est fondamentalement la même que pour les valeurs RMS. Pour les valeurs de Peak, les parts des sources varient un peu plus entre les différents types de logement, en particulier pour les mesures de courte durée, car les valeurs extrêmes de l'intensité de champ peuvent s'étaler sur une plus grande plage de valeurs. Dans l'ensemble, la part de la radiodiffusion est plus faible, mais les contributions du TDD, du WLAN et du DECT sont un peu plus élevées. Cela s'explique par le type de modulation du signal (pulsation) utilisé par les différentes technologies. Alors que les services de radiodiffusion émettent à puissance constante sur une longue période, les signaux de TDD (téléphonie mobile), DECT et WLAN sont plus fortement modulés.

4.2.2 Exposition aux BF

Les valeurs médianes de la densité de flux magnétique totale lors de la mesure à court terme vont de 0,04-0,27 μT , pour la mesure mobile de 0,04-0,33 μT et pour la mesure à long terme de 0,04- 0,18 μT ainsi que 1,32 μT pour une seule chambre à coucher. Ces valeurs de mesure des BF sont comparables aux mesures d'exposition effectuées en 2012/13 en Suisse et en Italie dans 246 chambres à coucher. [15]. Dans cette étude, la valeur moyenne de la densité de flux magnétique était de 0,06 μT et la valeur maximale était de 0,7 μT .

Les mesures effectuées dans les immeubles situés à proximité d'une "ligne aérienne 220 / 380 kV" conduisent à des valeurs élevées de densité de flux magnétique pour les trois mesures partielles. Les valeurs individuelles maximales (mesure de courte durée : 1,68 μT , mesure mobile : 2,07 μT , mesure de longue durée : 2,07 μT) sont supérieures à la valeur limite de l'installation de 1 μT fixée à titre préventif par l'ORNI pour les (nouvelles) lignes de transport d'électricité dans des lieux tels que les habitations, les écoles ou les hôpitaux. La valeur limite de l'installation (VLInst) est une valeur limite préventive. Elle vise à maintenir à un bas niveau l'exposition à long terme dans les lieux où les gens séjournent régulièrement pendant une longue période et à réduire ainsi le risque d'éventuelles conséquences pour la santé qui ne sont pas encore identifiables aujourd'hui. La valeur limite de l'installation est environ 100 fois plus basse que la valeur limite d'immissions, qui protège contre les effets sur la santé scientifiquement prouvés. La valeur limite de l'installation s'applique au rayonnement d'une seule installation. Lors des présentes mesures, l'exposition totale provenant de toutes les sources, a été enregistrée. Il n'est pas possible de déterminer la contribution exacte de la ligne à haute tension, même si l'on peut supposer que cette exposition élevée est principalement due à la ligne aérienne. Il convient

également de noter que la valeur limite d'installation ne s'applique qu'aux nouvelles lignes à haute tension et non aux anciennes, c'est-à-dire à celles qui étaient déjà en service avant l'entrée en vigueur de l'ORNI le 1er février 2000. Si les anciennes lignes de transport dépassent la valeur limite de l'installation, il faut optimiser ce que l'on appelle l'ordre des phases. Cela permet de réduire la distribution spatiale du champ magnétique. Il n'y a pas d'autres exigences. Si une ancienne ligne ne respecte pas la valeur limite de l'installation même après optimisation des phases, cela est toléré [16].

Pour les lignes de chemin de fer, l'ORNI exige le respect de la VLInst de $1 \mu\text{T}$, en ce qui concerne la "valeur efficace de la densité de flux magnétique moyennée sur 24 heures". La mesure effectuée dans une habitation située à proximité d'une ligne de chemin de fer à deux voies comprend des points de données supérieurs à $1 \mu\text{T}$ pour les mesures à court et à long terme. La distribution des boxplots montre que seuls quelques points sont supérieurs à $1 \mu\text{T}$ et que la valeur efficace (RMS, 16,7 Hz) du courant ferroviaire, moyennée sur la durée de la mesure à long terme, est de $0,19 \mu\text{T}$, ce qui correspond à la VLInst. Pour un autre immeuble situé à proximité d'une ligne de chemin de fer à voie unique, la mesure à long terme présente une valeur maximale de $1,09 \mu\text{T}$. La valeur efficace à 16,7 Hz, moyennée sur la durée de la mesure de longue durée, est de $0,18 \mu\text{T}$, ce qui satisfait également à la VLInst. Dans la catégorie "pas de source primaire BF", une habitation se trouve à proximité d'installations ferroviaires, ce qui conduit également à un maximum supérieur à $1 \mu\text{T}$. La valeur RMS du courant ferroviaire, moyennée sur la mesure à long terme, est de $0,19 \mu\text{T}$.

Dans le cas d'un immeuble situé à proximité d'un tunnel ferroviaire à deux voies, les mesures à long terme effectuées dans la chambre à coucher révèlent une forte asymétrie dans la répartition de la densité de flux magnétique. La valeur maximale relevée est de $2,92 \mu\text{T}$ et la médiane est de $1,32 \mu\text{T}$. Les contributions à l'intensité de champ présentent une proportion de 99,4 % à 50 Hz. Une analyse de l'évolution de la densité de flux a montré qu'il n'existe pas de modèle typique pour les lignes de chemin de fer. On suppose donc que les immissions proviennent principalement d'un lit d'eau chauffé électriquement. L'influence d'une source interne sur la répartition de l'intensité de champ est également démontrée par le fait que les valeurs correspondantes ne sont pas remarquables pour les autres mesures partielles dans la même catégorie de sources.

4.2.3 Mesures permanentes stationnaires

Alors que les mesures d'itinéraires et les mesures ponctuelles saisissent les immissions dues aux champs électriques et magnétiques sur une période relativement courte à des endroits prédéfinis dans toute la Suisse, les mesures permanentes stationnaires suivent une autre approche. Au lieu de couvrir un espace géographiquement grand et aussi diversifié que possible, l'accent est mis dans ce chapitre sur la connaissance aussi précise que possible de la situation des immissions à quelques endroits et sur une longue période. Des mesures permanentes ont été effectuées sur cinq sites du consortium de projet SwissNIS pendant toute l'année 2023. Ces mesures ont pour but de pouvoir tirer des conclusions sur les changements temporels des immissions d'intensité de champ électrique.

Comme les appareils de mesure ExpoM-RF4 sont placés à l'extérieur dans toutes les stations de mesure, les valeurs médianes peuvent être comparées au mieux avec celles des mesures d'itinéraires. Les stations de mesure sont situées dans différents types d'environnement de mesure, voir à ce sujet le chapitre 2.4.4 et les Figure 43 à Figure 47 en annexe V. La station de mesure fixe de Zürich est située sur un toit dans un centre urbain. Les valeurs médianes mesurées de $1,13 \text{ V/m}$ (RMS) et $5,96 \text{ V/m}$ (Peak) sont nettement plus élevées que les mesures d'itinéraires de $0,24 \text{ V/m}$ (RMS) et $1,22 \text{ V/m}$

(Peak) dans les centres urbains. La station de mesure fixe d'*Allschwil* est située dans une zone industrielle et les valeurs médianes sont de 0,52 V/m (RMS) et 2,76 V/m (Peak) par rapport à 0,30 V/m (RMS) et 1,67 V/m (Peak) dans les niveaux industriels des mesures d'itinéraires. Dans un quartier résidentiel urbain centralisé à *Aarau*, la station de mesure permanente a mesuré 0,62 V/m (RMS) et 5 V/m (Peak) et à *Neuchâtel*, les valeurs moyennes d'intensité de champ totale ont été enregistrées à 0,28 V/m (RMS) et 1,27 V/m (Peak). Les valeurs issues des mesures d'itinéraires sont également plus faibles pour l'environnement de mesure correspondant, avec 0,20 V/m (RMS) et 1,02 V/m (Peak). La station de mesure permanente de *Deitingen* (quartier d'habitation urbain décentralisé) présente des valeurs médianes de 0,65 V/m (RMS) et 3,86 V/m (Peak), alors que les mesures d'itinéraires ont donné 0,16 V/m (RMS) et 1,02 V/m (Peak) pour ce type de microenvironnement. Les écarts importants entre les mesures fixes et les mesures d'itinéraires pourraient s'expliquer d'une part par le fait que les exposimètres des stations de mesure permanentes sont généralement placés en hauteur (p. ex. sur les toits des bâtiments) et qu'il existe ainsi un contact visuel illimité avec les antennes émettrices, contrairement aux mesures d'itinéraires qui sont effectuées à hauteur de piéton. En outre, il est possible que des contributions de plusieurs stations de téléphonie mobile exploitées à proximité soient enregistrées à des positions élevées.

Contrairement aux mesures d'itinéraires, les mesures permanentes stationnaires sont effectuées sur un seul site (N=1). Il en résulte que la répartition de l'intensité de champ dépend fortement du lieu. Une comparaison de la Figure 33 avec la Figure 9 et la Figure 10 des mesures d'itinéraires montre le Downlink RMS fournit la plus grande contribution à l'intensité de champ totale pour les mesures permanentes. De même, les intensités de champ totales de Peak se composent principalement de composantes Downlink et TDD pour les mesures permanentes stationnaires et les mesures d'itinéraires. Tous les sites de mesures permanents présentent une distance de moins de 10 km par rapport aux émetteurs de radiodiffusion. A *Allschwil*, la distance à un émetteur de radiodiffusion puissant ($\geq 2,5$ kW) est d'environ 10 km et à *Aarau*, l'émetteur de radiodiffusion ($\geq 2,5$ kW) se trouve à environ 6 km de la station de mesure permanente. Cela se reflète dans de grandes contributions de radiodiffusion de 38 % à *Allschwil* et de 32 % à *Aarau*. Sur le site de *Zürich*, la distance par rapport à un émetteur de radiodiffusion d'une puissance $\geq 2,5$ kW est de 1,5 km. La contribution à l'intensité de champ totale RMS ne s'y élève toutefois qu'à 8 %. En ce qui concerne la répartition en pourcentage de l'intensité de champ totale de Peak, la part TDD élevée de 60 % à *Aarau* est observée. Cela indique la présence d'une antenne 5G.

Selon le site, l'agrégation des intensités de champ au fil des mois révèle des tendances différentes, voir Figure 35 et Figure 36. Dans les stations de mesure permanentes de *Deitingen* et de *Zürich*, on constate une réduction des valeurs d'intensité de champ électrique pendant les mois d'été. Sur le site de l'EPF, cela est probablement lié aux vacances semestrielles, qui durent généralement de juin à mi-septembre. A *Deitingen*, une rangée d'arbres se trouve entre l'antenne de téléphonie mobile et la station de mesure permanente. A partir du mois de mars, le feuillage augmente et reste constamment élevé de mai à septembre. A partir du mois d'octobre, le feuillage diminue à nouveau. L'évolution mensuelle des valeurs d'intensité de champ à *Deitingen* montre une saisonnalité similaire. Pendant les mois où le feuillage est dense, le signal de téléphonie mobile est atténué. L'atténuation est plus importante pour les hautes fréquences. A *Neuchâtel*, on remarque de fortes variations abruptes du Downlink avec des valeurs plus élevées en main/juin et à partir d'octobre. Cela laisse supposer qu'il y a eu des changements dans la configuration du réseau de téléphonie mobile dans les environs. Les stations de mesure permanentes fixes d'*Aarau* et d'*Allschwil* ne présentent pas de grandes variations de niveau

au fil des mois. A Allschwil, l'antenne se trouve dans une zone industrielle et à Aarau dans une quartier résidentiel central urbain, à proximité des bâtiments administratifs cantonaux.

La Figure 37 montre la répartition en pourcentage des bandes de fréquences de téléphonie mobile par rapport à l'intensité de champ totale RMS causée par la téléphonie mobile. Pour la station de Neuchâtel, on constate que les contributions provenant de la bande 2100 MHz ont fortement augmenté au cours de l'année 2023, passant de 15 % à 59 %. Cette augmentation s'est faite au détriment des bandes de fréquences 1800 MHz, 800 MHz et 2600 MHz, dont les contributions ont diminué au cours de l'année de 42 % à 28 %, de 30 % à 4 %, et de 5 % à 2 % respectivement. Les contributions de la bande des 900 MHz ont également diminué, passant de 2,6 % à 0,8 %. Il s'agit ici uniquement d'un déplacement et non d'une déconnexion, car les quatre bandes avec des réductions d'intensité de champ sont toujours actives. Une explication possible serait le changement de configuration du réseau de téléphonie mobile dans l'environnement proche évoqué plus haut. La bande de 2100 MHz est surtout utilisée pour la 4G (LTE) et en partie aussi pour la 5G. Une tendance inverse est observable à Deitingen. Au cours des mois de juin, juillet, août, septembre et octobre, les contributions des bandes 700 MHz (max. +3 %), 800 MHz (max. +9 %) et 1800 MHz (max. +4 %) ont légèrement augmenté par rapport au début de l'année. Au cours de la même période, les contributions des bandes 2100 MHz (max. -17 %) et 2600 MHz (max. -7 %) ont diminué. Il n'est pas possible d'en déterminer précisément les raisons. Pour les autres stations de mesure permanente, la répartition des contributions des différentes bandes de téléphonie mobile ne varie que légèrement. Il n'est pas toujours possible d'attribuer une technologie de téléphonie mobile aux bandes de fréquences, car celles-ci sont attribuées par la ComCom de manière technologiquement neutre. En d'autres termes, les opérateurs de téléphonie mobile sont libres (avec des restrictions) de choisir quelles technologies ils utilisent sur quelles bandes de fréquences [19]. Les aperçus des sites [21] des Figure 43 à Figure 47 en annexe V montrent que des services de téléphonie mobile 3G, 4G et 5G sont exploités à proximité de tous les sites de mesure.

La Figure 38 montre la répartition des Peaks des bandes de fréquences de la téléphonie mobile. Il ressort de [20] que la bande de fréquences de 3500 MHz mise aux enchères en 2019 est utilisée pour la technologie 5G. Comparée aux parts de 3500 MHz issues de la répartition RMS, la contribution des Peaks présente des pourcentages nettement plus élevés. Cela s'explique par le fait que la technologie 5G présente un facteur de Peak plus élevé que les autres technologies de téléphonie mobile. En particulier sur le site d'Aarau, un pourcentage important, allant jusqu'à 68 % de l'intensité totale du champ mobile de Peak, provient de la bande des 3,5 GHz. La station de mesure permanente d'Allschwil présente également une contribution maximale de 34 % à l'intensité de champ de Peak dans cette bande.

Une analyse des variations diurnes montre que les valeurs médianes de l'intensité de champ diminuent fortement pendant la nuit et atteignent un minimum dans l'intervalle entre quatre et cinq heures du matin, puis augmentent jusqu'à midi. Pour toutes les stations de mesure permanente, on constate une brusque augmentation de l'intensité de champ dans l'intervalle [12:00,13:00]. Cela est probablement dû à une augmentation du volume de données pendant la pause de midi. L'évolution de l'intensité de champ l'après-midi est généralement constante ou en légère hausse jusqu'à 18 heures dans toutes les stations, sauf à Zürich. L'intensité de champ y diminue légèrement jusqu'à 16 heures et ensuite fortement jusqu'à 20 heures. Une explication possible est qu'après 16 heures, il y a moins de visiteurs sur le campus et que la proportion d'habitants utilisant la téléphonie mobile dans la zone d'influence du site de mesure est faible par rapport au nombre de membres de l'université. Pour les autres stations de mesure permanente, les valeurs médianes de l'intensité de champ augmentent à nouveau après

18 heures et atteignent un maximum vers 21 ou 22 heures. Les utilisateurs de la téléphonie mobile semblent avoir encore une fois un besoin accru de services de téléphonie mobile avant d'aller se coucher. Mais il serait également possible que les téléphones mobiles téléchargeaient des sauvegardes sur des serveurs après un moment d'inactivité, ce qui pourrait provoquer les valeurs maximales au début de la nuit.

4.3 Limitations

Afin de réduire autant que possible l'effet de blindage corporel lors des mesures d'itinéraires, les exposimètres HF sont installés dans un sac à dos à une distance de 20 cm du corps, les ExpoM-RF se trouvant au niveau du haut du dos. Cette approche sous-estime néanmoins d'environ 10 % les valeurs moyennes réelles des CEM-HF sans aucune influence du corps, qui ont été déterminées par des mesures dans la chambre sans écho. Cette valeur est expliquée plus en détail dans le rapport annuel 2021 [2]. Les appareils ExpoM-ELF ne sont pas influencés par le blindage corporel. L'avantage de la configuration de mesure est qu'elle permet de collecter un grand nombre de données avec une résolution spatiale élevée. Les déplacements dans les environnements de mesure sont similaires à ceux de la population dans la vie quotidienne.

Les 300 microenvironnements des mesures d'itinéraires ont en principe été choisis de manière représentative en termes de régions linguistiques, de cantons, de typologies de communes et d'immissions de RNI. Les villes urbaines ont toutefois été volontairement plus échantillonnées. Ainsi, nos microenvironnements sont surreprésentatifs en ce qui concerne la proximité des stations de base de téléphonie mobile. On peut s'attendre à ce que l'exposition moyenne à cette source soit ainsi légèrement surestimée par rapport à la moyenne suisse.

Les mesures répétées dans les 75 microenvironnements et 43 espaces publics ont été effectuées en 2023 aux mêmes endroits qu'en 2021. Les mesures ont été effectuées au même moment de la journée (± 1 heure) et le même jour de la semaine (± 1 semaine calendaire). Même si les mesures ont été effectuées par la même personne, de petites variations dans les itinéraires/trajets choisis ou dans la vitesse de réalisation des mesures étaient inévitables. Cela est visible au vu du nombre légèrement différent de mesures par microenvironnement ou par espace public. Mais dans l'ensemble, on peut s'attendre à ce que ces petits écarts n'aient pas d'influence systématique sur le niveau des valeurs de mesure et qu'ils aient tout au plus quelque peu renforcé la variation aléatoire. En ce qui concerne les transports publics, il convient toutefois de noter que si, en principe, les mêmes trajets d'arrivée et de départ vers les environnements de mesure ont été effectués lors des deux campagnes de mesure, il n'en va pas de même pour les transports publics. Néanmoins, certaines variations, dues par exemple aux horaires, étaient inévitables. L'enregistrement de l'utilisation des moyens de transport a révélé que les mesures de 2023 ont été effectuées plus souvent dans des transports publics très fréquentés qu'en 2021, où l'utilisation était encore un peu plus faible en raison de la pandémie. Cela permettrait d'expliquer au moins une partie de l'augmentation de l'exposition aux CEM-HF observée dans les transports publics.

Comme expliqué ci-dessus, la bande TDD contient des immissions provenant à la fois des stations de base de téléphonie mobile et des appareils de téléphonie mobile. La communication correspondante se fait en différé (Time Division Duplex) dans la même bande de fréquence. La méthode de mesure choisie ne permet pas de distinguer les sources d'émission. Cela serait en principe utile, car il est

argumenté que les émissions provenant de l'appareil de téléphonie mobile (propre) sont volontaires, alors que celles des stations de base de téléphonie mobile sont involontaires. Toutefois, ce concept est de plus en plus discutable dans le cas des stations de base 5G adaptatives. Les antennes adaptatives dirigent leur faisceau en priorité dans la direction grande demande de données. Velghe et al. [17] ont donc introduit la notion d'exposition auto-induite lorsque les utilisateurs de la téléphonie mobile augmentent les immissions des stations de base de téléphonie mobile à l'endroit où ils se trouvent. Les futures études de mesure devraient donc clarifier quelles parts du TDD proviennent des appareils de téléphonie mobile et quelles parts des stations de base de téléphonie mobile. On peut estimer grossièrement qu'actuellement, les parts correspondantes sont similaires aux parts de Uplink et Downlink mesurées dans les environnements de mesure respectifs. Cela signifie que dans les transports publics, la part principale du TDD provient des appareils de téléphonie mobile, tandis que dans les mesures du microenvironnement à l'extérieur, la part principale provient des stations de base de téléphonie mobile. Il n'est pas certain que cette règle approximative soit encore applicable à l'avenir si la part de TDD augmente sensiblement.

Les valeurs de CEM-HF obtenues lors des mesures d'exposition représentent un niveau de base auquel la population suisse est exposée en permanence par une source éloignée du corps lorsqu'elle n'utilise pas d'appareil de téléphonie mobile, comme c'est le cas lors de la réalisation de la mesure. Ces valeurs ne reflètent toutefois pas l'exposition totale de la population qui utilise des appareils personnels sans fil. D'une part, elles ne tiennent pas compte des immissions auto-induites des stations de base mentionnées ci-dessus, qui augmenteront probablement avec le développement du réseau de téléphonie mobile 5G. D'autre part, il convient de noter que dans le cadre de ce monitoring, aucune mesure des émissions n'a été effectuée directement à la source (p. ex. au niveau du téléphone mobile). L'exposition aux CEM-HF absorbée lors de l'utilisation d'appareils de téléphonie mobile directement sur le corps est nettement plus élevée que les valeurs documentées dans cette étude pour l'Uplink ou le TDD [18].

En résumé, les valeurs mesurées sont nettement inférieures aux valeurs limites d'immissions, qui sont déterminantes en ce qui concerne les effets sur la santé. Dans l'ensemble, la compréhension de l'exposition au RNI dans la vie quotidienne est nettement améliorée par ces résultats et ceux attendus à l'avenir.

5. Bibliographie

- [1] Office fédéral de l'environnement, "Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant," 2022. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2000/38/de>.
- [2] SwissNIS, "Mesures d'exposition au rayonnement non ionisant - Rapport annuel 2021 - Consortium de projet SwissNIS", Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2022. Accessed : 5 Jun 2023. [En ligne]. Disponible : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/fachinformationen/elektrosmog-belastung/nis-expositionsmessungen.html>
- [3] Joint Committee for Guides in Metrology, "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement " *JCGM*, 2008. [En ligne]. Available: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6.
- [4] M. Eeftens, S. Dongus, A. Burgler, M. Roosli, and A. team, "A real-world quality assessment study in six ExpoM-RF measurement devices," *Environ Res*, vol. 182, p. 109049, Mar 2020, doi : 10.1016/j.envres.2019.109049.
- [5] Office fédéral de la statistique, "Typologie des communes et typologie ville/campagne," 2012 [En ligne]. Disponible sur : <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/nomenklaturen/gemtyp.html>.
- [6] SwissNIS, "Mesures d'exposition aux rayonnements non ionisants - Rapport annuel 2022 - Consortium de projet SwissNIS", Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2023. [En ligne]. Disponible : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/fachinformationen/elektrosmog-belastung/nis-expositionsmessungen.html>
- [7] Office fédéral de l'environnement. "Recherche sur les effets des RNI sur la santé et l'environnement - Effets des immissions des stations de base de téléphonie mobile et des émetteurs radio sur l'état d'esprit, le comportement et les capacités cognitives des jeunes : étude de cohorte prospective avec étude de panel intégrée". <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/fachinformationen/forschung.html#-224531633> (accessed 2023).
- [8] M. Eeftens, B. Struchen, K. Roser, M. Zahner, J. Frohlich, and M. Roosli, "Dealing with crosstalk in electromagnetic field measurements of portable devices," *Bioelectromagnetics*, vol. 39, no. 7, pp. 529-538, Oct 2018, doi : 10.1002/bem.22142.
- [9] H. Jalilian, M. Eeftens, M. Ziaei, et M. Roosli, "Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments : An updated systematic review for Europe," *Environ Res*, vol. 176, p. 108517, Sep 2019, doi : 10.1016/j.envres.2019.05.048.
- [10] S. Sagar *et al.*, "Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe : A systematic literature review", *J Expo Sci Environ Epidemiol*, vol. 28, no. 2, pp. 147-160, Mar 2018, doi : 10.1038/jes.2017.13.
- [11] M. Velghe, W. Joseph, S. Debouvere, R. Aminzadeh, L. Martens, and A. Thielens, "Characterisation of spatial and temporal variability of RF-EMF exposure levels in urban environments in Flanders, Belgium," *Environ Res*, vol. 175, pp. 351-366, Aug 2019, doi : 10.1016/j.envres.2019.05.027.
- [12] C. Schmutz *et al.*, "Personal radiofrequency electromagnetic field exposure of adolescents in the Greater London area in the SCAMP cohort and the association with restrictions on permitted use of mobile communication technologies at school and at home," *Environ Res*, vol. 212, no. Pt B, p. 113252, Sep 2022, doi : 10.1016/j.envres.2022.113252.
- [13] L. van Wel, R. Vermeulen, M. van Eijsden, T. Vrijkotte, H. Kromhout, et A. Huss, "Radiofrequency exposure levels in Amsterdam schools," *Bioelectromagnetics*, vol. 38, no. 5, pp. 397-400, Jul 2017, doi : 10.1002/bem.22053.

- [14] M. Gallastegi *et al.*, "Exposure to extremely low and intermediate-frequency magnetic and electric fields among children from the INMA-Gipuzkoa cohort," (en anglais), *Environmental Research*, vol. 157, pp. 190-197, Aug 2017, doi : 10.1016/j.envres.2017.05.027.
- [15] B. Struchen, I. Liorni, M. Parazzini, S. Gangler, P. Ravazzani, et M. Roosli, "Analysis of personal and bedroom exposure to ELF-MFs in children in Italy and Switzerland", *J Expo Sci Environ Epidemiol*, vol. 26, no. 6, pp. 586-596, Nov 2016, doi : 10.1038/jes.2015.80.
- [16] A. Reichenbach, "Electrosmog dans l'environnement", *Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP*, 2005. [En ligne]. Available : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/publications-studien/publications/elektrosmog-in-der-umwelt.html>.
- [17] M. Velghe, S. Aerts, L. Martens, W. Joseph, and A. Thielens, "Protocol for personal RF-EMF exposure measurement studies in 5th generation telecommunication networks", *Environ Health-Glob*, vol. 20, no. 1, Apr 1 2021, doi : 10.1186/s12940-021-00719-w.
- [18] L. van Wel *et al.*, "Radio-frequency electromagnetic field exposure and contribution of sources in the general population : an organ-specific integrative exposure assessment", *J Expo Sci Environ Epidemiol*, vol. 31, no. 6, pp. 999-1007, Nov 2021, doi : 10.1038/s41370-021-00287-8.
- [19] L. E. Birks *et al.*, Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe, *Environment International*, vol. 117, 204-214, 2018.

6. Sources de données

Tableau 9: Jeux de données utilisés pour la planification des parcours et des sites de mesure, avec leurs sources d'approvisionnement et leur licence.

Informations	Source	Licence
Emplacements des antennes de téléphonie mobile	geo.admin.ch	Public
Sites des stations de radio	geo.admin.ch	Public
Coordonnées Lignes à haute tension	<ul style="list-style-type: none"> - Swissgrid SA - Axpo Grid AG - Primeo Energie - Groupe E SA - openinframap.org 	Avec accord d'utilisation des données ou public
Coordonnées des lignes de chemin de fer	geo.admin.ch (SwissTLM3D)	Public
Typologie des communes OFS	Atlas de l'OFS	Public
Typologie des communes ARE	geo.admin.ch	Public
Zones à bâtir	geo.admin.ch	Public
Typologie des paysages	geo.admin.ch	Public
Limites communales	geo.admin.ch	Public
CORINE Couverture terrestre	wsl.ch	Public
Registre des bâtiments et des logements (RBL) (contient des informations sur la population)	OFS	Contrat d'utilisation des données
Statistiques sur les bâtiments et les logements (SBL)	OFS	Contrat d'utilisation des données

Annexe

I Glossaire

Tableau 10: Glossaire

Désignation	Description
AC	Alternating Current : courant alternatif
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFS	Office fédéral de la statistique
DAB	Digital Audio Broadcasting : norme de transmission numérique pour la radio.
DC	Direct Current : courant continu
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications : norme de communication radio, principalement utilisée pour les téléphones sans fil.
DL	Le Downlink : Flux de données de l'antenne de téléphonie mobile vers le téléphone portable
ELF	Extremely low Frequency : plage de fréquences de 3 à 30 Hz (selon la définition de l'Union internationale des télécommunications). Dans le présent rapport, ce terme est utilisé pour désigner toutes les fréquences inférieures à 100 kHz.
CEM	Champ électromagnétique : terme générique pour les champs électromagnétiques et leurs interactions.
FFT	Fast Fourier Transform : terme générique pour les méthodes mathématiques de conversion de signaux entre l'espace temporel et l'espace fréquentiel.
FM	Modulation de fréquence : procédé permettant d'appliquer un signal utile à un signal porteur en modifiant la fréquence du signal porteur.
SIG	Système d'information géographique
GPS	Global Positioning System : service de localisation basé sur les satellites
HF	Haute fréquence, utilisée comme synonyme de RF dans le présent rapport.
IQR	Interquartile Range : plage interquartile (.75 percentile - .25 percentile)
IGW	Valeur limite d'immissions
ISM	Industrial, Scientific and Medical band : bandes de fréquences sans licence utilisées pour un grand nombre d'appareils techniques (par ex. Bluetooth, WiFi, four à micro-ondes).
ME	Micro Environment / Microenvironnement
MySQL	Système de gestion de base de données d'Oracle
NF	Basse fréquence, utilisée comme synonyme d'ELF dans le présent rapport.
RNI	Rayonnement non ionisant
PAM/PAMR	Professional mobile radio : Systèmes de communication radio
Peak	Valeur de crête (maximum)
Polycom	Réseau radio suisse basé sur Tetrapol, système radio national officiel des autorités pour la police, les services de secours, etc.
R	Langage de programmation libre pour les applications statistiques
RF	Radio frequency : gamme de fréquences non clairement définie (principalement) dans les bandes MHz et GHz, utilisée pour la plupart des technologies de communication.
RMS	root mean square : valeur mathématique efficace de l'intensité de champ alternatif.
TDD	Time-division duplexing : Procédé de transmission dans lequel le flux de données entre deux appareils (par exemple un téléphone mobile et une antenne de téléphonie mobile) est décalé dans le temps dans les deux directions (Uplink et Downlink) avec la même fréquence.
Tetrapol	Système radio numérique développé pour le domaine d'application de la sécurité publique.
TV	Television : services de télévision

Désignation	Description
UL	Uplink : Flux de données du téléphone mobile vers l'antenne de téléphonie mobile
WiFi	Consortium d'entreprises pour la certification des appareils WLAN, utilisé dans le langage courant comme synonyme de WLAN.
WLAN	Wireless Local Area Network : réseaux locaux sans fil

II Liste des communes où se trouvent les microenvironnements

Tableau 11: Liste des communes avec le nombre total de microenvironnement par commune et répartis par type de microenvironnement.

Commune	Canton	Zone industrielle	Centre-ville	Quartier résidentiel central urbain	Quartier d'habitation urbain décentralisé	Centre-ville suburbain	Quartier résidentiel suburbain	Centre du village	Quartier résidentiel rural	zone agricole	Zone de sport et de loisirs	Zone naturelle	Total
Aarau	AG	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	5
Adliswil	ZH	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Allschwil	BL	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Appenzell	AI	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Arisdorf	BL	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Avenches	VD	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Bâle	BS	1	2	3	5	0	0	0	0	0	1	0	12
Bätterkinden	BE	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Bellinzone	TI	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Belp	BE	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Berne	BE	2	1	3	3	0	0	0	0	0	1	1	11
Bettingen	BS	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2
Bienne	BE	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
Bioggio	TI	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Bolligen	BE	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Bourg-en-Lavaux	VD	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
Bowil	BE	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
Bremgarten	AG	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Brienz	BE	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Berthoud	BE	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
Buttisholz	LU	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Chamoson	VS	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Châtillon	JU	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Chavannes-près-Renens	VD	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Cheseaux-Noréaz	VD	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
Coire	GR	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Dallenwil	NW	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
Deitingen	SO	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3
Delémont	JU	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3

Mesures d'exposition au rayonnement non
 Rapport annuel 2023 - Consortium de projet SwissNIS
 23.05.2024

Commune	Canton	Zone industrielle	Centre-ville	Quartier résidentiel central urbain	Quartier d'habitation urbain décentralisé	Centre-ville suburbain	Quartier résidentiel suburbain	Centre du village	Quartier résidentiel rural	zone agricole	Zone de sport et de loisirs	Zone naturelle	Total
Disentis	GR	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Dübendorf	ZH	1	0	0	0	1	2	0	0	0	1	0	5
Dulliken	SO	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	3
Ecublens	VD	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Entlebuch	LU	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
Erstfeld	UR	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Ettiswil	LU	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Felben	TG	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Frauenfeld	TG	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	4
Freienbach	SZ	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Fribourg	FR	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	4
Frick	AG	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3
Genève	GE	1	1	2	2	0	0	0	0	0	1	0	7
Gerlafingen	SO	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Giubiasco	TI	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Glaris	GL	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	5
Glaris Nord	GL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Gonten	AI	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Gränichen	AG	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Grellingen	BL	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Grolley	FR	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Gstaad (Saanen)	BE	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Günsberg	SO	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Hergiswil	NW	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Herisau	AR	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Iséables	JU	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Jonen	AG	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Kehrsatz	BE	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Landquart	GR	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Langnau	BE	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3
Laufenburg	AG	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3
Lausanne	VD	1	1	2	2	0	0	0	0	0	1	1	8
Le Grand-Saconnex	GE	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

Mesures d'exposition au rayonnement non
 Rapport annuel 2023 - Consortium de projet SwissNIS
 23.05.2024

Commune	Canton	Zone industrielle	Centre-ville	Quartier résidentiel central urbain	Quartier d'habitation urbain décentralisé	Centre-ville suburbain	Quartier résidentiel suburbain	Centre du village	Quartier résidentiel rural	zone agricole	Zone de sport et de loisirs	Zone naturelle	Total
Liestal	BL	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	4
Lugano	TI	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Lungern	OW	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Lucerne	LU	1	2	1	3	0	0	0	0	0	1	0	8
Marly	FR	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Münchenstein	BL	1	0	0	0	1	2	0	0	0	1	1	6
Nesslau	SG	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Neuchâtel	NE	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
Neuhausen am Rheinflal	SH	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	4
Nidau	BE	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Niedergösgen	SO	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Nyon	VD	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
Pully	VD	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Reinach	AG	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Rossemaison	JU	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2
Rümlang	ZH	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3
Corbeau	AI	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Saint-Blaise	NE	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
San Antonino	TI	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Schaffhouse	SH	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Schwyz	SZ	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Seewen	SO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Selzach	SO	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Sion	VS	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Soleure	SO	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
Saint-Gall	SG	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	6
Stans	NW	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Subingen	SO	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Unterbäch	VS	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Unterlunkhofen	AG	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Viège	VS	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Vully-les-Lacs	VD	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Walchwil	ZG	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2

Mesures d'exposition au rayonnement non
 Rapport annuel 2023 - Consortium de projet SwissNIS
 23.05.2024

Commune	Canton	Zone industrielle	Centre-ville	Quartier résidentiel central urbain	Quartier d'habitation urbain dé-centralisé	Centre-ville suburbain	Quartier résidentiel suburbain	Centre du village	Quartier résidentiel rural	zone agricole	Zone de sport et de loisirs	Zone naturelle	Total
Wattwil	SG	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3
Weesen	SG	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3
Winterthur	ZH	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	6
Wohlen près de Berne	BE	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Yverdon	VD	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	4
Zermatt	VS	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Zernez	GR	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Zollikon	ZH	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Zufikon	AG	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Zürich	ZH	3	2	3	4	0	0	0	0	0	2	0	14
Zweisimmen	BE	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3
Total		29	20	23	34	36	52	29	39	16	13	9	300

Environnements de mesure dans les espaces publics

Tableau 12: Liste des communes avec le nombre total d'environnement de mesure par commune et répartis par type d'environnement de mesure, respectivement par espace public.

Commune	Canton	Gare ferroviaire	Arrêt de tram	Arrêt de bus	EPF/UNI/HES	Supermarché	Restaurant	Bibliothèque	Aéroport	Musée	Total
Aarau	AG	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Allschwil	BL	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Appenzell	AI	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Arisdorf	BL	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Bâle	BS	4	3	0	0	0	1	0	0	0	8
Bellinzone	TI	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Belp	BE	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Berne	BE	6	2	0	0	0	0	0	0	0	8
Bienne	BE	0	0	1	0	0	2	1	0	0	4
Bioggio	TI	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Bourg-en-Lavaux	VD	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Bowil	BE	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Bremgarten	AG	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Brienz	BE	0	0	1	0	1	1	0	0	0	3
Berthoud	BE	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
Chavannes-des-Bois	VD	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Coire	GR	0	0	1	3	0	0	0	0	0	4
Dallenwil	NW	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Delémont	JU	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3
Disentis	GR	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Dübendorf	ZH	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Duggingen	SO	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Ecublens	VD	0	0	0	3	0	0	1	0	0	4
Erstfeld	LU	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Ettiswil	LU	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Frauenfeld	TG	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3
Freienbach	SZ	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Fribourg	FR	0	0	3	0	0	1	0	0	0	4
Frick	AG	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Genève	GE	4	1	0	3	0	0	1	1	0	10
Glaris	GL	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Grellingen	BL	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2

Commune	Canton	Gare ferroviaire	Arrêt de tram	Arrêt de bus	EPF/UNI/HES	Supermarché	Restaurant	Bibliothèque	Aéroport	Musée	Total
Grolley	FR	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Gstaad	BE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Günsberg	SO	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Hergiswil	NW	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Landquart	GR	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Langnau	BE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Laufenburg	AG	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Lausanne	VD	2	0	3	0	0	2	0	0	1	8
Le Grand-Saconnex	GE	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Liestal	BL	2	0	1	0	1	0	0	0	0	4
Lugano	TI	1	0	1	0	1	1	0	0	0	4
Lucerne	LU	1	0	2	0	0	1	0	0	0	4
Montreux	VD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Münchenstein	BL	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Nesslau	SG	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Neuchâtel	NE	0	1	2	1	0	0	1	0	0	5
Neuhausen am Rheinfall	SH	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Nyon	VD	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Olten	SO	1	0	0	3	0	0	0	0	0	4
Reinach	AG	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Riddes	VS	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Riehen	BS	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Corbeau	AI	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Schaffhouse	SH	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
Schwyz	SZ	0	0	2	0	0	1	0	0	0	3
Sion	VS	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
Soleure	SO	3	0	0	0	1	1	0	0	0	5
Spiez	BE	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Saint-Gall	SG	1	0	2	0	0	2	0	0	0	5
Stans	NW	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Unterlunkhofen	AG	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Viège	VS	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Weesen	SG	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
Winterthur	ZH	1	0	2	0	1	0	0	0	0	4
Wohlen près de Berne	BE	0	0	2	0	1	1	0	0	0	4
Yverdon	VD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2

Mesures d'exposition au rayonnement non
 Rapport annuel 2023 - Consortium de projet SwissNIS
 23.05.2024

Commune	Canton	Gare ferroviaire	Arrêt de tram	Arrêt de bus	EPF/UNI/HES	Supermarché	Restaurant	Bibliothèque	Aéroport	Musée	Total
Zollikon	ZH	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Zürich	ZH	3	6	0	3	1	2	0	1	0	16
Zweisimmen	BE	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Total		56	13	37	16	19	40	4	2	1	188

III Paramètres statistiques des mesures d'itinéraires

3.1.1.1 Aperçu général - Exposition aux HF

Tableau 13: Paramètres statistiques (en V/m) de l'exposition totale aux CEM-HF (RMS). "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type.

	Environnement de mesure	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Microenvironnements	Zone industrielle	29	4810	0.04	0.10	0.19	0.30	0.46	0.83	3.22
	Centre-ville	20	3445	0.02	0.06	0.14	0.24	0.38	0.81	6.02
	Quartier résidentiel central urbain	23	3717	0.02	0.06	0.12	0.20	0.34	0.68	3.66
	Zone de sport et de loisirs	13	2156	0.04	0.07	0.13	0.19	0.30	0.55	1.61
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	34	5754	0.02	0.05	0.10	0.16	0.27	0.54	2.08
	Centre-ville suburbain	36	5792	0.02	0.05	0.09	0.15	0.24	0.49	2.23
	Quartier résidentiel suburbain	52	8594	0.02	0.04	0.07	0.12	0.23	0.52	1.56
	Zone agricole	16	2808	0.01	0.03	0.06	0.11	0.27	1.25	2.46
	Quartier résidentiel rural	39	6727	0.01	0.03	0.05	0.10	0.19	0.44	2.21
	Centre du village	29	4706	0.02	0.03	0.05	0.09	0.16	0.35	1.01
	Zone naturelle	9	1569	0.02	0.03	0.04	0.07	0.12	0.25	0.52
espaces publics	Environnement de mesure	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
	Aéroport	2	331	0.12	0.19	0.29	0.48	0.72	1.22	2.75
	Arrêt de tram	13	1072	0.07	0.15	0.24	0.39	0.55	0.88	3.89
	Arrêt de bus	37	3220	0.04	0.08	0.20	0.32	0.47	0.96	10.39
	Gare ferroviaire	56	4949	0.03	0.07	0.17	0.29	0.48	0.99	3.54
	Musée	1	529	0.03	0.05	0.13	0.21	0.34	0.78	1.51
	EPF/UNI/HES	16	2114	0.02	0.03	0.07	0.13	0.28	0.71	1.81
	Restaurant	40	9437	0.02	0.03	0.06	0.13	0.26	0.71	6.11
	Bibliothèque	4	540	0.02	0.03	0.06	0.12	0.19	0.43	1.17
	École	28	3847	0.01	0.02	0.05	0.09	0.16	0.47	1.50
Supermarché	19	2186	0.02	0.03	0.05	0.08	0.14	0.34	1.51	
Moyens de transport	Environnement de mesure	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
	Metro	5	344	0.05	0.11	0.18	0.24	0.34	0.63	1.09
	Train	207	53269	0.01	0.06	0.15	0.24	0.39	0.68	4.04
	Tram	18	1865	0.05	0.09	0.15	0.22	0.32	0.60	2.77
	Bus	90	9167	0.02	0.06	0.13	0.20	0.31	0.60	4.84
	Téléphérique	8	860	0.02	0.03	0.06	0.09	0.16	0.27	0.62

Tableau 14: Contribution moyenne (%) des différentes sources RF (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) à l'exposition totale aux CEM-HF (RMS). RMS (V/m) désigne la valeur moyenne quadratique calculée selon l'équation (4). "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure.

	Environnement de mesure	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Microenvironnements	Zone industrielle	29	4810	0.45	87.1	0.1	3.2	9.3	0.1	0.1
	Centre-ville	20	3445	0.44	83.8	0.8	2.8	4.5	0.7	7.4
	Quartier résidentiel central urbain	23	3717	0.37	90.6	0.2	2.3	6.1	0.6	0.1
	Zone de sport et de loisirs	13	2156	0.30	76.0	0.1	0.8	23.0	0.1	0.0
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	34	5754	0.27	67.4	0.1	1.9	29.6	0.8	0.1
	Centre-ville suburbain	36	5792	0.25	82.4	0.2	2.2	14.3	0.9	0.2
	Quartier résidentiel suburbain	52	8594	0.25	62.4	0.1	1.3	35.6	0.4	0.1
	Zone agricole	16	2808	0.48	8.3	0.0	0.1	91.5	0.0	0.0
	Quartier résidentiel rural	39	6727	0.21	67.4	0.1	0.9	31.2	0.3	0.1
	Centre du village	29	4706	0.17	53.3	0.2	1.1	44.5	0.6	0.2
	Zone naturelle	9	1569	0.12	44.6	0.4	1.0	53.1	0.6	0.3
espaces publics	Environnement de mesure	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Aéroport	2	331	0.66	96.4	0.3	0.6	0.4	2.3	0.1
	Arrêt de tram	13	1072	0.55	89.5	0.3	5.8	3.5	0.8	0.2
	Arrêt de bus	37	3220	0.62	91.9	0.4	1.0	6.0	0.4	0.3
	Gare ferroviaire	56	4949	0.50	77.8	1.0	4.8	14.9	1.0	0.4
	Musée	1	529	0.38	97.5	1.0	0.0	0.1	1.3	0.0
	EPF/UNI/HES	16	2114	0.31	82.2	3.3	2.6	6.8	4.9	0.2
	Restaurant	40	9437	0.32	89.9	2.5	0.4	2.1	4.0	1.1
	Bibliothèque	4	540	0.21	74.2	1.8	1.0	5.8	15.5	1.6
	École	19	3847	0.22	76.3	1.8	3.0	14.6	4.0	0.4
	Supermarché	28	2186	0.17	69.6	5.1	0.3	3.2	12.5	9.4
Moyens de transport	Environnement de mesure	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Metro	5	344	0.33	19.5	58.8	0.0	0.5	21.1	0.0
	Train	207	53269	0.37	38.3	40.3	6.4	1.3	13.6	0.1
	Tram	18	1865	0.33	75.1	7.8	4.2	5.7	7.0	0.2
	Bus	90	9167	0.32	57.7	9.9	5.2	20.5	6.5	0.2
	Téléphérique	8	860	0.15	63.5	8.6	0.9	23.5	3.4	0.1

Tableau 15: Paramètres statistiques (en V/m) de l'exposition totale aux CEM-HF (Peak). "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type.

	Environnement de mesure	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Microenvironnements	Zone industrielle	29	4808	0.13	0.43	0.96	1.67	2.78	5.34	18.13
	Centre-ville	20	3443	0.07	0.23	0.63	1.22	2.07	4.61	21.72
	Quartier résidentiel central urbain	23	3717	0.08	0.25	0.57	1.02	1.81	3.98	26.25
	Zone de sport et de loisirs	13	2157	0.11	0.21	0.53	0.88	1.50	3.53	9.47
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	34	5758	0.07	0.14	0.40	0.74	1.37	2.94	10.38
	Centre-ville suburbain	36	5788	0.06	0.18	0.39	0.72	1.31	2.94	10.87
	Zone agricole	16	2809	0.05	0.11	0.21	0.50	1.19	5.34	12.27
	Quartier résidentiel suburbain	52	8599	0.06	0.12	0.24	0.50	1.14	2.90	9.62
	Quartier résidentiel rural	39	6724	0.05	0.10	0.21	0.44	0.93	2.31	8.00
	Centre du village	29	4706	0.06	0.10	0.19	0.36	0.71	1.82	10.19
	Zone naturelle	9	1568	0.06	0.09	0.13	0.23	0.50	1.19	2.80
espaces publics	Environnement de mesure	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
	Aéroport	2	332	0.52	0.78	1.58	2.19	3.19	4.92	8.32
	Arrêt de tram	13	1072	0.33	0.76	1.28	2.15	3.25	6.15	19.32
	Arrêt de bus	37	3220	0.10	0.28	0.97	1.65	2.81	5.34	63.66
	Gare ferroviaire	56	4946	0.09	0.33	0.77	1.57	2.59	5.17	28.50
	Musée	1	528	0.12	0.29	0.68	1.20	1.96	4.32	7.89
	EPF/UNI/HES	16	2114	0.06	0.16	0.39	0.84	1.65	3.63	14.44
	Bibliothèque	40	541	0.07	0.10	0.25	0.72	1.25	2.98	6.55
	Restaurant	4	9433	0.08	0.16	0.34	0.72	1.48	3.40	22.60
	Supermarché	19	2190	0.06	0.16	0.34	0.56	1.00	2.34	8.80
École	28	3848	0.05	0.10	0.21	0.43	0.96	2.92	14.34	
Moyens de transport	Environnement de mesure	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
	Train	207	53286	0.03	0.29	0.89	1.55	2.47	4.43	18.88
	Metro	5	345	0.34	0.69	1.00	1.41	2.00	3.25	6.82
	Tram	18	1813	0.17	0.44	0.85	1.33	2.02	3.61	17.52
	Bus	90	9210	0.09	0.27	0.67	1.12	1.84	3.62	12.72
	Téléphérique	8	859	0.07	0.13	0.27	0.41	0.92	1.64	4.17

Tableau 16: Contribution moyenne (%) des différentes sources HF (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) à l'exposition totale aux CEM-HF (Peak). RMS (V/m) désigne la valeur moyenne quadratique calculée selon l'équation (4). "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure.

	Environnement de mesure	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Microenvironnements	Zone industrielle	29	4808	2.68	74.8	0.0	21.4	3.5	0.3	0.0
	Centre-ville	20	3443	2.37	86.3	0.3	11.1	1.2	0.9	0.1
	Quartier résidentiel central urbain	23	3717	2.08	81.2	0.1	15.9	2.2	0.6	0.1
	Zone de sport et de loisirs	13	2157	1.63	84.5	0.1	6.3	8.8	0.3	0.1
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	34	5758	1.45	70.2	0.1	14.2	14.7	0.7	0.2
	Centre-ville suburbain	36	5788	1.40	77.9	0.2	15.4	5.4	0.9	0.1
	Zone agricole	16	2809	2.10	12.7	0.0	0.9	86.2	0.2	0.0
	Quartier résidentiel suburbain	52	8599	1.31	68.0	0.0	13.5	17.9	0.4	0.1
	Quartier résidentiel rural	39	6724	1.09	78.6	0.0	7.0	13.4	0.9	0.1
	Centre du village	29	4706	0.89	70.1	0.2	6.0	22.1	1.5	0.1
	Zone naturelle	9	1568	0.55	61.7	1.8	11.6	21.5	3.4	0.0
espaces publics	Environnement de mesure	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Aéroport	2	332	2.78	87.6	0.7	5.8	0.1	5.7	0.1
	Arrêt de tram	13	1072	3.35	74.8	0.3	23.3	0.6	0.8	0.1
	Arrêt de bus	37	3220	3.51	88.0	0.4	9.1	1.9	0.4	0.2
	Gare ferroviaire	56	4946	2.74	71.3	1.2	22.4	2.8	2.1	0.2
	Musée	1	528	2.06	95.9	0.9	0.0	0.0	3.2	0.0
	EPF/UNI/HES	16	2114	1.65	60.8	5.5	14.9	1.8	17.0	0.1
	Bibliothèque	40	541	1.42	41.9	1.5	1.3	0.5	52.5	2.2
	Restaurant	4	9433	1.72	80.4	2.9	1.9	2.5	11.3	1.0
	Supermarché	19	2190	1.18	36.4	2.8	0.7	0.3	50.8	8.9
École	28	3848	1.37	61.1	1.7	23.4	5.1	8.4	0.3	
Moyens de transport	Environnement de mesure	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Train	207	53286	2.32	27.3	33.6	18.8	0.4	19.8	0.1
	Metro	5	345	1.85	17.0	57.1	0.0	0.1	25.7	0.0
	Tram	18	1813	1.97	55.7	11.6	22.9	1.8	7.9	0.1
	Bus	90	9210	1.85	48.6	11.0	28.6	4.6	7.2	0.0
	Téléphérique	8	859	0.85	73.4	13.6	4.3	4.5	4.2	0.0

Tableau 17: Plage de la charge moyenne des mesures RMS CEM-HF des différents environnements de mesure. La valeur moyenne de la valeur efficace est calculée selon l'équation (9). Le minimum et le maximum indiquent respectivement la valeur RMS la plus basse et la plus élevée pour chaque environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure du même type mesurés.

	Environnement de mesure	N	Min (V/m)	Valeurs moyennes de la RMS (V/m)	Max (V/m)
Microenvironnements	Zone industrielle	29	0.18	0.42	0.73
	Centre-ville	20	0.22	0.42	0.66
	Quartier résidentiel central urbain	23	0.13	0.34	0.78
	Zone agricole	16	0.05	0.33	1.26
	Zone de sport et de loisirs	13	0.07	0.26	0.61
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	34	0.03	0.25	0.63
	Centre-ville suburbain	36	0.09	0.23	0.40
	Quartier résidentiel suburbain	52	0.05	0.21	0.53
	Quartier résidentiel rural	39	0.02	0.18	0.55
	Centre du village	29	0.03	0.15	0.34
Zone naturelle	9	0.04	0.11	0.21	
espaces publics	Environnement de mesure	N	Min (V/m)	Valeurs moyennes de la RMS (V/m)	Max (V/m)
	Aéroport	2	0.44	0.64	0.84
	Arrêt de tram	13	0.21	0.51	1.35
	Arrêt de bus	37	0.06	0.46	2.09
	Gare ferroviaire	56	0.05	0.41	1.16
	Musée	1	0.38	0.38	0.38
	EPF/UNI/HES	16	0.06	0.25	0.67
	Restaurant	40	0.03	0.25	0.93
	Bibliothèque	4	0.08	0.18	0.32
	École	28	0.03	0.16	0.87
Supermarché	19	0.06	0.14	0.37	
Moyens de transport	Environnement de mesure	N	Min (V/m)	Valeurs moyennes de la RMS (V/m)	Max (V/m)
	Train	207	0.04	0.34	1.34
	Metro	5	0.23	0.32	0.43
	Tram	19	0.16	0.32	0.64
	Bus	89	0.09	0.31	0.64
	Téléphérique	8	0.13	0.15	0.17

Tableau 18: Plage de la charge moyenne des mesures CEM-HF de Peak des différents environnements de mesure. La valeur moyenne est calculée selon l'équation (9). Le minimum et le maximum indiquent respectivement la valeur moyenne effective la plus basse et la plus élevée par environnement de mesure individuel. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure mesurés du même type.

	Environnement de mesure	N	Min (V/m)	Valeurs moyennes de la RMS (V/m)	Max (V/m)
Microenvironnements	Zone industrielle	29	0.96	2.53	4.05
	Centre-ville	20	1.15	2.23	4.33
	Quartier résidentiel central urbain	23	0.59	1.88	4.42
	Zone agricole	16	0.17	1.44	5.71
	Zone de sport et de loisirs	13	0.24	1.39	3.64
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	34	0.11	1.32	2.78
	Centre-ville suburbain	36	0.40	1.30	2.55
	Quartier résidentiel suburbain	52	0.19	1.11	3.01
	Quartier résidentiel rural	39	0.11	0.90	2.54
	Centre du village	29	0.14	0.75	1.95
Zone naturelle	9	0.19	0.46	1.21	
espaces publics	Environnement de mesure	N	Min (V/m)	Valeurs moyennes de la RMS (V/m)	Max (V/m)
	Arrêt de tram	13	1.08	3.12	7.67
	Aéroport	2	2.74	2.78	2.82
	Arrêt de bus	37	0.15	2.45	12.38
	Gare ferroviaire	56	0.21	2.27	7.19
	Musée	1	2.06	2.06	2.06
	EPF/UNI/HES	16	0.30	1.43	3.65
	Restaurant	40	0.16	1.38	6.60
	Bibliothèque	4	0.62	1.26	2.24
	Supermarché	19	0.49	1.07	2.41
École	28	0.16	1.02	5.60	
Moyens de transport	Environnement de mesure	N	Min (V/m)	Valeurs moyennes de la RMS (V/m)	Max (V/m)
	Train	207	0.15	2.12	6.58
	Tram	18	0.80	1.89	2.96
	Metro	5	1.48	1.84	2.52
	Bus	90	0.57	1.77	5.91
	Téléphérique	8	0.40	0.78	1.03

3.1.1.2 Aperçu général - Exposition aux BF

Tableau 19: Paramètres statistiques (en μT) de l'exposition totale aux CM-BF. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure du même type mesurés.

	Environnement de mesure	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Microenvironnements	Centre-ville	20	3438	0.02	0.04	0.11	0.19	0.31	0.58	2.75
	Quartier résidentiel central urbain	23	3710	0.02	0.04	0.10	0.18	0.30	0.58	1.43
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	34	5747	0.01	0.03	0.08	0.14	0.26	0.59	3.27
	Centre-ville suburbain	36	5770	0.02	0.03	0.07	0.13	0.25	0.56	6.39
	Centre du village	29	4705	0.01	0.02	0.05	0.12	0.21	0.47	4.04
	Zone industrielle	52	4797	0.01	0.02	0.05	0.11	0.25	0.77	6.87
	Quartier résidentiel suburbain	29	8576	0.01	0.02	0.05	0.11	0.20	0.51	4.86
	Quartier résidentiel rural	39	6586	0.01	0.02	0.05	0.09	0.17	0.36	3.49
	Zone de sport et de loisirs	16	2150	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.20	1.10
	Zone agricole	9	2804	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.24	1.70
	Zone naturelle	13	1565	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.18	1.69
	Environnement de mesure	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
espaces publics	Gare ferroviaire	55	4792	0.02	0.04	0.11	0.38	1.12	3.36	24.17
	Arrêt de tram	13	1067	0.02	0.06	0.12	0.22	0.36	0.74	2.32
	Arrêt de bus	36	3159	0.02	0.03	0.07	0.15	0.30	0.69	7.66
	EPF/UNI/HES	40	2108	0.01	0.02	0.03	0.06	0.15	0.57	2.43
	Restaurant	16	9368	0.01	0.02	0.03	0.06	0.15	0.45	1.46
	Supermarché	19	2114	0.01	0.02	0.03	0.06	0.10	0.27	1.42
	École	28	3840	0.01	0.02	0.02	0.04	0.09	0.40	7.11
	Bibliothèque	1	541	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.07	9.24
	Musée	4	528	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.07	0.15
	Aéroport	2	332	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.09
	Environnement de mesure	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Moyens de transport	Train	203	51539	0.01	0.06	0.18	0.44	1.22	5.28	27.41
	Tram	18	1813	0.02	0.04	0.09	0.17	0.32	0.89	4.52
	Bus	89	9108	0.01	0.03	0.05	0.08	0.15	0.43	5.94
	Metro	5	343	0.02	0.02	0.04	0.08	0.14	0.36	0.90
	Téléphérique	8	856	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.08	0.39

Tableau 20: Contribution moyenne (%) des différentes sources de BF (courant de traction, alimentation électrique, courant d'ondulation des trams) à l'exposition totale aux CM-BF. RMS (V/m) désigne la valeur moyenne quadratique calculée selon l'équation (6). "N" désigne le nombre d'environnements de mesure du même type mesurés. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure.

	Environnement de mesure	N	n	RMS (μT)	Courant ferroviaire (16,6 Hz)	Alimentation électrique (50 Hz)	Courant d'ondulation du tram (300 Hz)
Microenvironnements	Centre-ville	20	3438	0.31	5.1	87.7	7.2
	Quartier résidentiel central urbain	23	3710	0.29	11.7	83.4	4.9
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	34	5747	0.30	36.8	62.2	1.1
	Centre-ville suburbain	36	5770	0.30	39.5	60.3	0.2
	Centre du village	29	4705	0.25	33.0	66.9	0.1
	Quartier résidentiel suburbain	52	8576	0.29	32.0	67.9	0.1
	Zone industrielle	29	4797	0.48	25.7	74.2	0.1
	Quartier résidentiel rural	39	6586	0.20	50.5	49.4	0.1
	Zone agricole	16	2804	0.17	2.7	97.2	0.2
	Zone de sport et de loisirs	9	2150	0.11	21.3	74.2	4.5
	Zone naturelle	13	1565	0.11	91.1	8.6	0.3
espaces publics	Environnement de mesure	N	n	RMS (μT)	Courant ferroviaire (16,6 Hz)	Alimentation électrique (50 Hz)	Courant d'ondulation du tram (300 Hz)
	Gare ferroviaire	55	4792	1.92	99.4	0.6	0.0
	Arrêt de tram	13	1067	0.36	16.7	39.8	43.5
	Arrêt de bus	36	3159	0.55	81.7	17.9	0.3
	Restaurant	40	9368	0.20	72.3	27.6	0.1
	EPF/UNI/HES	16	2108	0.27	87	12.9	0.1
	Supermarché	19	2114	0.14	8.8	91	0.2
	École	28	3840	0.50	8.1	91.8	0.0
	Musée	1	528	0.04	11.9	85.2	3.0
	Bibliothèque	4	541	0.40	0.8	4.7	94.4
	Aéroport	2	332	0.02	33.4	60.3	6.3
Moyens de transport	Environnement de mesure	N	n	RMS (μT)	Courant ferroviaire (16,6 Hz)	Alimentation électrique (50 Hz)	Courant d'ondulation du tram (300 Hz)
	Train	203	51539	2.34	99.8	0.2	0.0
	Tram	18	1813	0.49	37.4	35.1	27.5
	Bus	89	9108	0.29	79.7	18.4	1.9
	Metro	5	343	0.18	81.6	13.4	5.0
	Téléphérique	8	856	0.05	14.6	83.5	1.9

Tableau 21: Plage de la charge moyenne des mesures CM-BF des différents environnements de mesure. La valeur moyenne est calculée selon l'équation (10). Le minimum et le maximum indiquent respectivement la valeur moyenne la plus basse et la plus élevée pour chaque environnement de mesure. "N" désigne le nombre de microenvironnements inclus.

	Environnement de mesure	N	Minimum de la moyenne arithmétique (μT)	Moyenne de la moyenne arithmétique (μT)	Maximum de la moyenne arithmétique (μT)
Microenvironnements	Centre-ville	20	0.16	0.24	0.42
	Zone industrielle	29	0.02	0.23	1.48
	Quartier résidentiel central urbain	23	0.13	0.22	0.34
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	34	0.06	0.21	0.53
	Centre-ville suburbain	36	0.08	0.20	0.45
	Centre du village	29	0.07	0.17	0.45
	Quartier résidentiel suburbain	52	0.06	0.17	0.43
	Quartier résidentiel rural	39	0.07	0.13	0.50
	Zone agricole	16	0.02	0.07	0.20
	Zone naturelle	9	0.02	0.05	0.22
	Zone de sport/loisirs	13	0.02	0.05	0.10
espaces publics	Environnement de mesure	N	Minimum de la moyenne arithmétique (μT)	Moyenne de la moyenne arithmétique (μT)	Maximum de la moyenne arithmétique (μT)
	Gare ferroviaire	55	0.03	1.05	7.20
	Arrêt de tram	13	0.09	0.30	0.56
	Arrêt de bus	36	0.03	0.29	2.61
	EPF/UNI/HES	16	0.02	0.14	0.60
	Restaurant	40	0.02	0.13	0.53
	École	28	0.02	0.13	0.91
	Supermarché	19	0.02	0.09	0.23
	Bibliothèque	4	0.02	0.05	0.12
	Musée	1	0.04	0.04	0.04
	Aéroport	2	0.02	0.02	0.02
Moyens de transport	Environnement de mesure	N	Minimum de la moyenne arithmétique (μT)	Moyenne de la moyenne arithmétique (μT)	Maximum de la moyenne arithmétique (μT)
	Train	203	0.03	1.18	8.99
	Tram	18	0.09	0.26	0.55
	Bus	89	0.04	0.15	0.45
	Metro	5	0.05	0.12	0.19
	Téléphérique	8	0.02	0.03	0.06

3.1.1.4 Analyses supplémentaires dans les écoles - exposition aux HF et aux BF

Tableau 22: Paramètres statistiques (en V/m) de l'exposition totale aux CEM-HF RMS (en haut) et Peak (en bas) dans les écoles. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type.

École RMS	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Cour – intérieure sans élèves	2	282	0.01	0.02	0.03	0.08	0.11	0.21	0.59
Cour – intérieure avec élèves	2	296	0.02	0.05	0.09	0.11	0.15	0.25	0.68
Cour – extérieure sans élèves	9	1242	0.02	0.03	0.06	0.09	0.24	0.80	1.50
Cour – extérieure avec élèves	7	962	0.02	0.03	0.08	0.12	0.23	0.48	1.36
Couloir	8	1065	0.02	0.02	0.03	0.05	0.08	0.17	0.59
École Peak	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Cour – intérieure sans élèves	2	283	0.07	0.12	0.31	0.47	0.76	1.57	4.05
Cour – intérieure avec élèves	2	296	0.09	0.27	0.46	0.66	0.98	1.98	5.49
Cour – extérieure sans élèves	9	1242	0.08	0.11	0.21	0.43	1.33	4.53	14.34
Cour – extérieure avec élèves	7	962	0.07	0.13	0.32	0.66	1.30	3.07	5.02
Couloir	8	1065	0.05	0.08	0.14	0.25	0.44	1.00	9.61

Tableau 23: Contribution moyenne (%) des différentes sources RF (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) à l'exposition totale aux CEM-HF (RMS et Peak) dans les écoles. RMS (V/m) désigne la valeur moyenne quadratique calculée selon l'équation (4). "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure.

École RMS	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Cour – intérieure sans élèves	2	282	0.12	49.1	0.4	3.7	32.5	14.2	0.0
Cour – intérieure avec élèves	2	296	0.15	28.6	20.0	3.3	17.0	30.9	0.1
Cour – extérieure sans élèves	9	1242	0.31	84.2	0.1	3.6	10.8	0.6	0.6
Cour – extérieure avec élèves	7	962	0.23	70.9	3.5	1.7	21.0	2.8	0.1
Couloir	8	1065	0.09	40.9	2.4	0.7	19.6	36.2	0.3
École Peak	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Cour – intérieure sans élèves	2	283	0.80	30.1	0.4	3.5	4.7	61.3	0.0
Cour – intérieure avec élèves	2	296	1.07	16.7	12.0	4.2	2.7	64.5	0.0
Cour – extérieure sans élèves	9	1242	1.92	65.7	0.0	30.1	3.3	0.5	0.4
Cour – extérieure avec élèves	7	962	1.33	66.7	4.3	16.2	10.6	2.1	0.1
Couloir	8	1065	0.59	34.3	1.2	1.5	4.8	57.9	0.3

Tableau 24: Paramètres statistiques (en μ T) de l'exposition totale aux CM-BF dans les écoles. "n" désigne le nombre de points de données dans les écoles. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type.

École BF	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Cour – intérieure sans élèves	2	283	0.02	0.02	0.05	0.12	0.26	2.37	6.41
Cour – intérieure avec élèves	2	295	0.02	0.03	0.09	0.13	0.61	3.52	7.11
Cour – extérieure sans élèves	9	1238	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.29	2.39

Cour – extérieure avec élèves	7	959	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.16	0.50
Couloir	8	1065	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.18	0.52

Tableau 25: Contribution moyenne (%) des différentes sources de BF (courant ferroviaire, alimentation électrique, courant ondulé des trams) à l'exposition totale aux CM-BF dans les écoles. RMS (V/m) désigne la moyenne quadratique calculée selon l'équation (6). "N" désigne le nombre d'environnements de mesure du même type mesurés. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure.

École BF	N	n	RMS (μT)	Courant ferroviaire	Alimentation électrique	Courant d'ondulation du tram
Cour – intérieure sans élèves	2	283	1.14	0.5	99.5	0.0
Cour – intérieure avec élèves	2	295	1.30	0.4	99.6	0.0
Cour – extérieure sans élèves	9	1238	0.24	96.3	3.7	0.1
Cour – extérieure avec élèves	7	959	0.08	50.3	49.0	0.7
Couloir	8	1065	0.08	40.7	58.6	0.6

Tableau 26: Paramètres statistiques (en V/m) de l'exposition totale aux CEM-HF (RMS) en 2023 et 2021. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type.

	Environnement de mesure	Année	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Microenvironnements	Zone industrielle	2023	8	1366	0.05	0.11	0.23	0.36	0.52	0.91	3.63
		2021	8	1365	0.04	0.10	0.21	0.33	0.49	0.79	1.60
	Zone de sport et de loisirs	2023	3	488	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.51	0.89
		2021	3	553	0.06	0.10	0.18	0.27	0.38	0.59	0.82
	Quartier résidentiel central urbain	2023	6	1015	0.03	0.07	0.13	0.21	0.31	0.53	1.37
		2021	6	1015	0.03	0.06	0.13	0.20	0.32	0.53	1.85
	Centre-ville	2023	5	939	0.03	0.04	0.10	0.21	0.38	0.86	2.26
		2021	5	977	0.02	0.05	0.11	0.21	0.37	0.77	2.45
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	2023	8	1368	0.02	0.06	0.09	0.14	0.23	0.51	1.50
		2021	8	1504	0.04	0.06	0.11	0.15	0.24	0.51	1.34
	Centre-ville suburbain	2023	8	1298	0.02	0.05	0.09	0.14	0.25	0.54	1.33
		2021	8	1327	0.02	0.05	0.09	0.13	0.23	0.49	1.42
	Quartier résidentiel rural	2023	9	1565	0.02	0.04	0.07	0.12	0.21	0.40	0.93
		2021	9	1587	0.02	0.04	0.07	0.12	0.22	0.43	1.03
	Centre du village	2023	9	1484	0.02	0.03	0.05	0.10	0.18	0.39	1.38
		2021	9	1467	0.02	0.03	0.05	0.10	0.18	0.42	1.01
Quartier résidentiel suburbain	2023	11	1780	0.02	0.03	0.05	0.08	0.16	0.49	1.05	
	2021	11	1822	0.02	0.04	0.05	0.08	0.17	0.45	1.27	
Zone agricole	2023	3	600	0.02	0.03	0.05	0.08	0.10	0.18	2.08	
	2021	3	632	0.01	0.03	0.05	0.07	0.11	0.29	1.18	
Zone naturelle	2023	5	949	0.02	0.03	0.04	0.06	0.11	0.23	0.44	
	2021	5	939	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.17	0.44	
espaces publics	Environnement de mesure		N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
	Arrêt de tram	2023	4	390	0.11	0.16	0.28	0.51	0.70	1.44	4.38
		2021	4	230	0.10	0.14	0.34	0.53	0.62	1.68	3.89
	Aéroport	2023	1	159	0.17	0.20	0.36	0.50	0.79	1.06	1.94
		2021	1	174	0.12	0.16	0.26	0.33	0.51	0.73	1.29
	Arrêt de bus	2023	5	416	0.06	0.12	0.21	0.31	0.41	0.57	0.86
		2021	5	390	0.09	0.13	0.24	0.36	0.48	0.63	0.81
	Gare ferroviaire	2023	13	985	0.02	0.09	0.16	0.27	0.42	0.83	3.51
		2021	13	1211	0.03	0.06	0.17	0.29	0.42	0.68	1.46
	Musée	2023	1	386	0.04	0.07	0.11	0.20	0.33	0.64	1.78
		2021	1	529	0.03	0.05	0.13	0.21	0.34	0.78	1.51
	Bibliothèque	2023	1	151	0.07	0.11	0.16	0.20	0.30	0.60	1.18
		2021	1	151	0.10	0.14	0.18	0.21	0.35	0.60	0.79
	Supermarché	2023	5	446	0.03	0.04	0.08	0.13	0.21	0.52	1.51
		2021	5	668	0.02	0.03	0.06	0.10	0.18	0.50	1.51
	EPF/UNI/HES	2023	4	525	0.02	0.04	0.07	0.11	0.14	0.20	1.35
2021		4	597	0.02	0.04	0.08	0.11	0.17	0.24	1.81	

		2023	9	2088	0.01	0.03	0.06	0.08	0.12	0.24	0.93
	Restaurant	2021	9	3444	0.02	0.02	0.04	0.08	0.13	0.25	1.26
	Environnement de mesure		N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Moyens de transport	Train	2023	58	14008	0.02	0.07	0.16	0.28	0.44	0.78	4.78
		2021	62	17845	0.01	0.04	0.12	0.21	0.35	0.58	4.04
	Tram	2023	6	522	0.05	0.09	0.18	0.26	0.36	0.60	1.89
		2021	5	482	0.05	0.08	0.14	0.20	0.29	0.53	2.77
	Bus	2023	14	1209	0.02	0.04	0.14	0.23	0.34	0.59	4.88
		2021	10	958	0.03	0.05	0.09	0.15	0.25	0.51	1.25
	Metro	2023	1	109	0.10	0.12	0.16	0.20	0.28	0.55	1.30
		2021	1	105	0.05	0.10	0.15	0.21	0.28	0.50	0.72
	Téléphérique	2023	2	451	0.02	0.03	0.06	0.08	0.19	0.30	1.21
		2021	2	439	0.02	0.03	0.06	0.09	0.17	0.27	0.62

Tableau 27: Contribution moyenne (%) des différentes sources RF en 2023 et 2021 (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) à l'exposition totale aux CEM-HF (RMS). RMS (V/m) désigne la valeur moyenne quadratique calculée selon l'équation (4). "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure.

	Environnement de mesure	Année	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Microenvironnements	Zone industrielle	2023	8	1366	0.49	80.1	0.1	7.3	12.1	0.2	0.2
		2021	8	1365	0.44	83.4	0.1	2.0	14.2	0.1	0.2
	Zone de sport et de loisirs	2023	3	488	0.33	52.8	0.2	5.6	41.2	0.1	0.1
		2021	3	553	0.33	63.6	0.3	0.4	35.6	0.0	0.0
	Centre-ville	2023	5	939	0.43	88.5	0.9	4.5	5.1	0.6	0.5
		2021	5	977	0.41	82.0	2.8	5.1	7.4	1.1	1.7
	Quartier résidentiel central urbain	2023	6	1015	0.29	79.5	0.3	4.9	14.5	0.6	0.1
		2021	6	1015	0.30	83.4	0.1	1.7	12.8	1.5	0.6
	Centre-ville suburbain	2023	8	1298	0.26	74.8	0.1	4.1	20.6	0.3	0.1
		2021	8	1327	0.25	79.8	0.1	1.7	17.2	1.1	0.1
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	2023	8	1368	0.25	83.8	0.2	3.3	12.2	0.4	0.1
		2021	8	1504	0.26	85.4	0.2	2.1	10.0	2.2	0.2
	Quartier résidentiel rural	2023	9	1565	0.20	55.4	0.1	1.5	42.6	0.3	0.1
		2021	9	1587	0.21	53.7	0.1	0.9	45.1	0.2	0.0
	Centre du village	2023	9	1484	0.20	63.9	0.2	2.4	32.9	0.6	0.0
		2021	9	1467	0.20	59.3	0.2	1.3	38.7	0.4	0.1
	Quartier résidentiel suburbain	2023	11	1780	0.20	51.3	0.3	2.0	46.0	0.4	0.1
		2021	11	1822	0.21	46.8	0.3	0.7	51.1	1.1	0.1
	Zone agricole	2023	3	600	0.18	91.3	0.1	0.1	8.2	0.2	0.0
		2021	3	632	0.17	90.7	0.1	0.1	8.8	0.1	0.0
Zone naturelle	2023	5	949	0.11	50.4	0.3	1.3	46.8	0.6	0.6	
	2021	5	939	0.09	40.2	0.5	0.5	58.1	0.7	0.0	

	Environnement de mesure		N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Espaces publics	Arrêt de tram	2023	4	0.75	84.3	0.0	14.3	1.2	0.1	0.1	0.75
		2021	4	0.80	97.2	0.2	1.1	1.0	0.4	0.1	0.80
	Aéroport	2023	1	0.66	50.0	0.1	48.7	0.4	0.6	0.3	0.66
		2021	1	0.44	90.8	0.4	2.1	0.4	6.1	0.2	0.44
	Arrêt de bus	2023	5	0.36	78.6	1.4	6.7	10.7	1.9	0.7	0.36
		2021	5	0.40	80.6	1.3	2.5	12.0	3.0	0.5	0.40
	Gare ferroviaire	2023	13	0.45	89.1	0.8	2.5	5.6	1.7	0.4	0.45
		2021	13	0.38	83.1	2.7	2.4	9.7	1.7	0.4	0.38
	Bibliothèque	2023	1	0.31	89.3	0.4	3.2	1.7	5.4	0.0	0.31
		2021	1	0.32	83.9	0.5	1.1	3.5	11.0	0.0	0.32
	Musée	2023	1	0.35	97.3	0.4	0.0	0.3	1.9	0.0	0.35
		2021	1	0.38	97.5	1.0	0.0	0.1	1.3	0.0	0.38
	Supermarché	2023	5	0.26	77.0	3.0	0.5	1.8	9.4	8.3	0.26
		2021	5	0.23	69.6	5.8	0.1	3.9	10.7	9.9	0.23
	EPF/UNI/HES	2023	4	0.14	58.2	4.5	3.5	6.4	27.1	0.3	0.14
		2021	4	0.17	36.5	4.7	1.7	38.6	18.4	0.1	0.17
Restaurant	2023	9	0.14	53.3	5.7	1.0	7.6	29.9	2.6	0.14	
	2021	9	0.14	58.5	3.3	0.2	12.7	22.1	3.3	0.14	
Moyens de transport	Environnement de mesure		N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Train	2023	58	14008	0.42	19.4	41.9	27.3	1.3	9.9	0.2
		2021	62	17845	0.32	42.3	38.8	3.0	1.8	14.0	0.1
	Tram	2023	6	522	0.34	65.0	7.1	13.7	6.9	7.2	0.2
		2021	5	482	0.33	77.2	3.1	2.5	11.2	5.8	0.1
	Bus	2023	14	1209	0.44	25.7	7.9	6.7	56.2	3.4	0.0
		2021	10	958	0.25	70.4	6.8	0.7	16.2	5.7	0.2
	Metro	2023	1	109	0.29	25.2	57.8	4.7	0.4	11.9	0.0
		2021	1	105	0.28	39.2	41.9	0.0	0.3	18.6	0.0
	Téléphérique	2023	2	451	0.17	89.7	1.0	0.9	8.1	0.3	0.1
2021		2	439	0.15	76.7	0.2	0.7	18.6	3.7	0.1	

Tableau 28: Paramètres statistiques (en V/m) de l'exposition totale aux CEM-HF (Peak) en 2023 et 2021. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type.

Environnement de mesure		Année	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	
Microenvironnements	Zone industrielle	2023	8	1368	0.13	0.53	1.26	2.14	3.23	6.12	17.87	
		2021	8	1365	0.13	0.40	1.13	1.89	2.84	4.80	10.86	
	Zone de sport/loisirs	2023	3	489	0.22	0.42	0.87	1.31	1.87	3.80	6.88	
		2021	3	554	0.23	0.44	0.79	1.19	1.61	3.42	5.65	
	zone résidentielle centrale urbaine	2023	6	1013	0.09	0.26	0.63	1.09	1.78	3.40	8.75	
		2021	6	1017	0.08	0.23	0.54	0.90	1.54	2.93	8.06	
	Centre-ville	2023	5	938	0.09	0.18	0.47	1.04	2.24	5.12	14.32	
		2021	5	979	0.07	0.16	0.46	1.00	1.92	4.15	11.49	
	centre-ville suburbain	2023	8	1297	0.09	0.20	0.45	0.82	1.55	3.68	8.88	
		2021	8	1325	0.06	0.17	0.37	0.69	1.39	3.23	7.87	
	zone d'habitation urbaine décentralisée	2023	8	1368	0.09	0.19	0.37	0.64	1.24	2.94	9.10	
		2021	8	1504	0.09	0.18	0.35	0.63	1.24	2.98	9.40	
	zone résidentielle rurale	2023	9	1564	0.09	0.14	0.28	0.55	1.03	2.11	5.44	
		2021	9	1586	0.08	0.12	0.27	0.53	0.98	2.03	5.20	
	Centre du village	2023	9	1485	0.08	0.13	0.23	0.46	0.90	2.36	6.09	
		2021	9	1467	0.06	0.11	0.22	0.45	0.82	2.31	10.19	
	zone résidentielle suburbaine	2023	11	1779	0.08	0.13	0.19	0.34	0.76	2.69	6.62	
		2021	11	1822	0.07	0.12	0.19	0.33	0.78	2.54	9.62	
zone agricole	2023	3	600	0.09	0.12	0.19	0.29	0.51	1.03	6.95		
	2021	3	633	0.05	0.10	0.16	0.28	0.55	1.36	5.37		
Zone naturelle	2023	5	949	0.07	0.10	0.14	0.22	0.42	0.89	2.98		
	2021	5	938	0.06	0.09	0.12	0.19	0.35	0.73	1.63		
espaces publics	Environnement de mesure			N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
	Aéroport	2023	1	159	1.05	1.58	2.61	4.27	6.58	9.62	31.61	
		2021	1	174	0.52	0.71	1.57	2.16	3.31	4.70	6.87	
	Arrêt de tram	2023	4	390	0.73	1.03	2.03	3.21	4.80	11.70	27.38	
		2021	4	230	0.57	0.75	2.25	3.20	3.79	10.28	19.32	
	Arrêt de bus	2023	5	418	0.30	0.55	1.10	1.76	2.48	3.91	7.30	
		2021	5	391	0.33	0.51	1.03	1.91	2.72	3.98	5.68	
	Gare ferroviaire	2023	13	984	0.10	0.47	0.99	1.50	2.17	3.69	12.38	
		2021	13	1211	0.12	0.24	0.84	1.65	2.22	3.50	7.64	
	Bibliothèque	2023	1	150	0.35	0.62	0.95	1.44	2.30	4.19	6.74	
		2021	1	151	0.24	0.64	0.98	1.27	2.20	4.67	6.55	
	Musée	2023	1	386	0.09	0.36	0.61	1.04	1.73	3.09	8.00	
		2021	1	528	0.12	0.29	0.68	1.20	1.96	4.32	7.89	
	Supermarché	2023	5	446	0.14	0.29	0.53	0.86	1.43	3.14	9.24	
		2021	5	671	0.17	0.27	0.44	0.68	1.13	3.02	8.80	
	EPF/UNI/HES	2023	4	523	0.06	0.17	0.38	0.70	0.88	1.62	5.57	
		2021	4	597	0.06	0.16	0.34	0.61	0.93	1.48	4.63	

		2023	9	2087	0.06	0.13	0.34	0.49	0.93	1.42	3.52
		2021	9	3440	0.08	0.15	0.25	0.49	0.66	1.07	3.42
Moyens de transport	Environnement de mesure		N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
	Train	2023	58	14014	0.08	0.40	1.06	1.87	2.85	5.78	27.15
		2021	62	17846	0.04	0.21	0.72	1.33	2.20	3.74	17.49
	Tram	2023	6	524	0.15	0.42	1.09	1.61	2.43	4.09	15.53
		2021	5	483	0.22	0.33	0.71	1.04	1.60	3.74	17.52
	Bus	2023	14	1161	0.09	0.17	0.81	1.40	2.39	4.16	9.03
		2021	10	1007	0.09	0.22	0.46	0.81	1.36	2.79	5.61
	Metro	2023	1	109	0.47	0.72	1.01	1.29	1.81	3.02	4.51
		2021	1	105	0.34	0.67	0.99	1.37	1.85	2.99	4.21
	Téléphérique	2023	2	451	0.09	0.14	0.25	0.38	1.15	1.90	4.33
		2021	2	438	0.07	0.13	0.29	0.41	1.04	1.74	4.17

Tableau 29: Contribution moyenne (%) des différentes sources HF en 2023 et 2021 (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) à l'exposition totale aux CEM-HF (Peak). RMS (V/m) désigne la valeur moyenne quadratique calculée selon l'équation (4). "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure.

	Environnement de mesure	An- née	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLA N (%)	DEC T (%)
Microenvironnements	Zone industrielle	2023	8	1368	3.17	66.8	0.0	28.0	5.0	0.2	0.0
		2021	8	1365	2.64	76.4	0.0	16.7	6.5	0.3	0.0
	Zone de sport et de loisirs	2023	3	489	1.87	53.4	0.0	31.2	15.2	0.2	0.0
		2021	3	554	1.64	76.5	0.0	5.5	17.8	0.2	0.0
	Quartier résidentiel central urbain	2023	6	1013	1.73	77.1	0.4	18.0	3.6	0.8	0.0
		2021	6	1017	1.51	81.8	0.1	12.3	4.6	0.8	0.2
	Centre-ville	2023	5	938	2.45	68.9	0.6	27.6	1.5	1.5	0.0
		2021	5	979	2.06	82.3	0.6	14.1	1.9	1.1	0.1
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	2023	8	1297	1.71	61.4	0.1	29.2	9.0	0.3	0.0
		2021	8	1325	1.49	76.0	0.3	15.1	8.1	0.4	0.0
	Centre-ville suburbain	2023	8	1368	1.49	80.3	0.0	17.1	2.2	0.4	0.0
		2021	8	1504	1.47	84.3	0.1	12.5	2.5	0.3	0.3
	Quartier résidentiel rural	2023	9	1564	1.02	67.8	0.0	5.9	25.4	0.8	0.0
		2021	9	1586	0.98	64.2	0.0	6.0	29.2	0.6	0.0
	Centre du village	2023	9	1485	1.05	72.5	0.2	7.8	18.5	1.0	0.1
		2021	9	1467	1.11	75.7	0.2	5.3	18.2	0.6	0.1

Mesures d'exposition au rayonnement non
 Rapport annuel 2023 - Consortium de projet SwissNIS
 23.05.2024

	Quartier résidentiel subur- bain	2023	11	1779	1.14	58.6	0.1	10.1	30.5	0.6	0.0
		2021	11	1822	1.11	62.3	0.1	2.9	34.1	0.6	0.0
	Zone agricole	2023	33	600	0.88	97.3	0.0	0.1	1.7	0.8	0.0
		2021	33	633	0.86	97.5	0.2	0.1	1.7	0.5	0.0
	Zone naturelle	2023	55	949	0.45	71.6	0.2	10.2	15.2	2.8	0.0
		2021	55	938	0.35	64.4	0.4	1.2	29.9	4.2	0.0
espaces publics	Environnement de mesure		N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Aéroport	2023	44	159	6.01	32.6	0.1	66.5	0.0	0.7	0.0
		2021	44	174	2.74	84.6	0.6	10.6	0.0	4.1	0.1
	Arrêt de tram	2023	11	390	5.93	67.6	0.0	32.2	0.1	0.1	0.0
		2021	11	230	4.70	91.8	0.1	7.7	0.2	0.1	0.1
	Arrêt de bus	2023	55	418	2.18	74.3	0.8	18.9	4.5	0.9	0.5
		2021	55	391	2.29	69.3	1.4	21.1	6.2	1.7	0.3
	Gare ferroviaire	2023	33	984	2.09	80.4	1.5	10.8	3.9	3.2	0.2
		2021	33	1211	1.99	77.6	3.3	11.9	4.5	2.5	0.2
	Bibliothèque	2023	11	150	2.18	49.9	0.3	4.2	0.1	45.5	0.0
		2021	11	151	2.24	53.2	0.5	1.3	0.1	44.9	0.0
	Musée	2023	11	386	1.75	92.1	0.6	0.0	0.1	7.1	0.0
		2021	11	528	2.06	95.9	0.9	0.0	0.0	3.2	0.0
	Supermarché	2023	55	446	1.63	48.3	2.9	5.2	0.9	33.6	9.1
		2021	55	671	1.38	46.9	3.5	0.1	0.5	39.1	9.8
	EPF/UNI/HES	2023	44	523	0.92	40.8	3.7	12.4	1.8	41.3	0.1
2021		44	597	0.83	38.0	6.5	9.0	3.8	42.7	0.1	
Restaurant	2023	99	2087	0.84	45.7	10.0	3.9	0.9	37.4	2.1	
	2021	99	3440	0.60	50.2	10.1	0.5	2.5	31.6	5.1	
Moyens de transport	Environnement de mesure		N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Train	2023	58	1401	3.13	9.5	25.8	53.1	0.4	11.1	0.1
		2021	62	1784	2.01	31.5	35.6	10.2	0.4	22.2	0.1
	Tram	2023	66	524	2.37	47.8	6.9	38.4	1.1	5.8	0.0
2021		55	483	2.10	61.6	4.1	24.3	2.5	7.5	0.0	

Bus	2023	14	1161	2.17	32.1	12.3	45.2	7.4		3.1	0.0
	2021	10	1007	1.33	70.5	9.4	5.7	7.1		7.2	0.0
Metro	2023	1	109	1.70	21.0	51.6	7.2	0.4		19.8	0.0
	2021	1	105	1.66	31.7	37.7	0.0	0.1		30.5	0.0
Téléphérique	2023	2	451	1.00	91.2	3.3	3.5	1.3		0.7	0.0
	2021	2	438	0.93	89.4	0.1	4.5	3.8		2.2	0.0

Tableau 30: Paramètres statistiques (en μT) de l'exposition totale aux CM-BF en 2021 et 2023. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure. "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type.

Environnement de mesure		An-née	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Microenvironnements	Quartier résidentiel central urbain	2023	6	1013	0.02	0.04	0.08	0.18	0.35	0.61	2.89
		2021	6	1012	0.02	0.04	0.08	0.17	0.30	0.59	0.93
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	2023	8	1366	0.01	0.03	0.08	0.17	0.31	0.83	4.32
		2021	8	1501	0.01	0.03	0.08	0.15	0.29	0.75	3.27
	Centre-ville	2023	5	937	0.02	0.04	0.10	0.17	0.28	0.49	2.22
		2021	5	975	0.02	0.03	0.10	0.17	0.26	0.49	2.75
	Quartier résidentiel suburbain	2023	11	1777	0.02	0.03	0.06	0.13	0.26	0.65	2.54
		2021	11	1819	0.02	0.03	0.07	0.14	0.26	0.80	2.93
	Centre du village	2023	9	1484	0.01	0.02	0.07	0.13	0.25	0.67	2.19
		2021	9	1473	0.01	0.02	0.06	0.14	0.25	0.57	4.04
	Zone industrielle	2023	8	1366	0.02	0.02	0.06	0.12	0.20	0.55	3.01
		2021	8	1363	0.02	0.03	0.06	0.11	0.22	0.54	2.45
	Centre-ville suburbain	2023	8	1294	0.02	0.03	0.06	0.11	0.21	0.46	1.94
		2021	8	1321	0.02	0.03	0.06	0.11	0.21	0.50	2.44
	Quartier résidentiel rural	2023	9	1561	0.01	0.02	0.05	0.10	0.19	0.56	1.77
		2021	9	1582	0.01	0.02	0.05	0.10	0.17	0.44	2.93
	Zone de sport et de loisirs	2023	3	488	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.20	0.99
		2021	3	553	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.25	1.10
	zone agricole	2023	3	598	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.31	0.74
		2021	3	632	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04	0.64	1.70
Zone naturelle	2023	5	946	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.12	0.17	
	2021	5	936	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	
Environnement de mesure			N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
espaces publics	Gare ferroviaire	2023	14	1076	0.02	0.03	0.09	0.32	1.23	3.03	8.76
		2021	14	1266	0.02	0.03	0.09	0.19	0.65	2.38	13.37
	Arrêt de tram	2023	4	390	0.04	0.09	0.15	0.23	0.39	0.77	1.40
		2021	4	228	0.05	0.11	0.18	0.31	0.56	1.02	1.73
	Arrêt de bus	2023	4	364	0.02	0.03	0.08	0.16	0.56	2.39	7.35
		2021	4	338	0.02	0.04	0.05	0.16	0.42	2.80	7.66

	Restaurant	2023	9	2083	0.01	0.02	0.04	0.08	0.17	0.35	0.59	
		2021	9	3390	0.02	0.02	0.03	0.06	0.16	0.33	0.60	
	Supermarché	2023	5	445	0.02	0.02	0.03	0.06	0.13	0.38	1.11	
		2021	5	598	0.02	0.02	0.04	0.06	0.16	0.42	1.42	
	Bibliothèque	2023	1	150	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	
		2021	1	151	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.07	0.08	
	Musée	2023	1	385	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.09	0.17	
		2021	1	528	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.07	0.15	
	EPF/UNI/HES	2023	4	523	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.10	0.31	
		2021	4	593	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.18	2.43	
	Aéroport	2023	1	159	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.08	
		2021	1	174	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.09	
	Moyens de transport	Environnement de mesure		N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
		Train	2023	58	13984	0.01	0.04	0.14	0.35	0.94	6.08	25.53
2021			62	16275	0.01	0.05	0.15	0.42	1.28	4.88	27.41	
Tram		2023	6	524	0.02	0.04	0.11	0.17	0.28	0.65	1.25	
		2021	5	483	0.02	0.05	0.10	0.15	0.25	0.60	1.92	
Bus		2023	14	1209	0.02	0.04	0.05	0.08	0.13	0.53	2.41	
		2021	10	917	0.01	0.02	0.05	0.08	0.13	0.32	2.72	
Metro		2023	1	108	0.02	0.02	0.03	0.05	0.11	0.19	0.34	
		2021	1	104	0.03	0.04	0.07	0.12	0.26	0.44	0.60	
Téléphérique		2023	2	450	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.08	0.55	
		2021	2	437	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.39	

Tableau 31: Contribution moyenne (%) des différentes sources de BF en 2021 et 2023 (courant ferroviaire, alimentation électrique, courant ondulé du tram) à l'exposition totale aux CM-BF. RMS (V/m) désigne la moyenne quadratique calculée selon l'équation (6). "N" désigne le nombre d'environnements de mesure de même type. "n" désigne le nombre de points de données par type d'environnement de mesure .

	Environnement de mesure	An- née	N	n	RMS (μ T)	Coura nt fer- rovi- aire	Alimentation électrique	Courant d'ondulation du tram
Microenvironnements	Quartier résidentiel central urbain	2023	6	1013	0.33	14.6	83.7	1.7
		2021	6	1012	0.28	13.7	85.1	1.2
	Centre-ville	2023	5	937	0.27	7.2	91.7	1.1
		2021	5	975	0.26	5.2	93.7	1.1
	Quartier résidentiel urbain décentralisé	2023	8	1366	0.47	77.7	21.5	0.8
		2021	8	1501	0.38	63.8	34.7	1.5
	Quartier résidentiel subur- bain	2023	5	1819	0.43	35.7	64.2	0.1

	2021	5	1777	0.33	28.7	71.1	0.2
	2023	8	1473	0.31	47.0	52.9	0.1
Centre du village	2021	8	1484	0.31	46.9	53.0	0.1
	2023	9	1366	0.32	43.5	56.0	0.5
Centre-ville suburbain	2021	9	1363	0.25	22.2	76.7	1.1
	2023	8	1294	0.25	8.8	90.8	0.5
Zone industrielle	2021	8	1321	0.30	6.2	93.4	0.4
	2023	9	1582	0.27	74.7	25.2	0.1
Quartier résidentiel rural	2021	9	1561	0.27	66.7	33.2	0.1
	2023	1	553	0.13	12.1	87.7	0.2
Zone de sport et de loisirs	2021	1	488	0.14	21.1	78.7	0.2
	2023	3	598	0.14	1.9	97.9	0.2
zone agricole	2021	3	632	0.30	0.6	99.3	0.0
	2023	5	946	0.04	14.3	83.4	2.3
Zone naturelle	2021	5	936	0.02	54.6	35.4	10.0
Environnement de mesure		N	n	RMS (μT)	Courant ferroviaire	Alimentation électrique	Courant d'ondulation du tram
	2023	14	1076	1.42	99.5	0.5	0.0
Gare ferroviaire	2021	4	1266	1.28	99.3	0.7	0.0
	2023	4	228	0.52	27.3	34.4	38.3
Arrêt de tram	2021	4	390	0.37	19.8	31.2	49.0
	2023	4	338	1.43	98.8	1.1	0.1
Arrêt de bus	2021	4	364	0.99	98.4	1.0	0.6
	2023	9	2083	0.16	84.6	15.2	0.2
Restaurant	2021	9	3390	0.15	68.6	31.3	0.2
	2023	5	598	0.22	2.9	97.0	0.1
Supermarché	2021	5	445	0.18	7.6	92.3	0.1
	2023	1	150	0.05	21.9	72.9	5.2
Bibliothèque	2021	1	151	0.05	23.0	68.3	8.7
Musée	2023	1	593	0.14	2.4	97.4	0.2

espaces publics

		2021	1	523	0.05	13.2	85.4	1.4
	EPF/UNI/HES	2023	4	385	0.04	10.0	88.0	2.0
		2021	4	528	0.04	11.9	85.2	3.0
	Aéroport	2023	1	174	0.03	30.3	63.9	5.8
		2021	1	159	0.02	36.9	56.0	7.2
Moyens de transport	Environnement de mesure		N	n	RMS (μT)	Courant ferroviaire	Alimentation électrique	Courant d'ondulation du tram
	Train	2023	58	1627	2.26	99.9	0.1	0.0
		2021	62	1398	2.53	99.7	0.1	0.1
	Tram	2023	6	524	0.30	61.1	13.5	25.4
		2021	5	483	0.30	59.3	15.4	25.3
	Bus	2023	14	104	0.22	81.7	13.4	4.8
		2021	10	108	0.10	82.2	14.2	3.5
	Metro	2023	1	1209	0.33	32.1	67.3	0.6
		2021	1	917	0.22	62.3	34.3	3.3
	Téléphérique	2023	2	437	0.04	12.5	85.3	2.2
		2021	2	450	0.05	9.3	88.9	1.8

Tableau 32: Comparaison des valeurs HF médianes et moyennes (RMS et Peak) mesurées en 2021 et 2023 (en V/m) pour les mesures d'itinéraires.

Microenvironnements	RMS (V/m)				Peak (V/m)				
	Médiane		Valeur moyenne		Médiane		Valeur moyenne		
	2021	2023	2021	2023	2021	2023	2021	2023	
HF Source	0.14	0.14	0.27	0.28	0.60	0.65	1.50	1.70	
Total CEM-HF	0.09	0.09	0.24	0.25	0.45	0.49	1.32	1.40	
Downlink	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.06	0.07	
Uplink	0.01	0.01	0.04	0.06	0.03	0.05	0.53	0.82	
Radiodiffusion	0.05	0.05	0.12	0.12	0.09	0.09	0.48	0.48	
WLAN	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	0.08	0.11	0.13	
DECT	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.04	0.02	
Espaces publics	RMS (V/m)				Peak (V/m)				
	Médiane		Valeur moyenne		Médiane		Valeur moyenne		
	2021	2023	2021	2023	2021	2023	2021	2023	
	HF Source	0.13	0.14	0.29	0.35	0.67	0.94	1.61	2.36
	Total CEM-HF	0.10	0.10	0.26	0.31	0.49	0.52	1.42	1.85
	Downlink	0.01	0.01	0.04	0.03	0.06	0.06	0.24	0.23
	Uplink	0.00	0.01	0.03	0.12	0.03	0.05	0.46	1.29
	Radiodiffusion	0.03	0.03	0.08	0.07	0.05	0.05	0.24	0.24
WLAN	0.03	0.03	0.06	0.07	0.20	0.20	0.48	0.56	

Mesures d'exposition au rayonnement non
 Rapport annuel 2023 - Consortium de projet SwissNIS
 23.05.2024

	DECT	0.01	0.01	0.03	0.03	0.04	0.03	0.17	0.17
		RMS (V/m)				Peak (V/m)			
Verkehrsmittel		Médiane		Valeur moyenne		Médiane		Valeur moyenne	
	HF Source	2021	2023	2021	2023	2021	2023	2021	2023
	Total CEM-HF	0.21	0.27	0.32	0.41	1.26	1.78	1.97	3.01
	Downlink	0.09	0.08	0.21	0.19	0.48	0.39	1.14	1.01
	Uplink	0.05	0.10	0.19	0.26	0.39	0.76	1.15	1.50
	TDD	0.01	0.01	0.05	0.21	0.03	0.07	0.64	2.17
	Radiodiffusion	0.02	0.02	0.05	0.10	0.04	0.05	0.16	0.25
	WLAN	0.05	0.07	0.12	0.13	0.29	0.41	0.91	0.98
	DECT	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.05	0.08

IV Caractéristiques statistiques des mesures de spots

4.1 Paramètres statistiques de l'exposition aux HF

Tableau 33: Paramètres statistiques de la distribution de l'intensité de champ électrique totale RMS HF pour toutes les mesures partielles, comme indiqué dans la moitié gauche de la Figure 24. Le calcul est basé sur l'équation (1). N désigne le nombre de mesures de site et le nombre de points de données évalués par source primaire est listé sous n. L'écart interquartile (IQR) désigne l'intervalle dans lequel se trouvent 50% des valeurs moyennes des données. Les quantiles sont désignés par Q.

				Exposition aux CEM-HF (RMS) (V/m)							
Mesure de courte durée	Source primaire	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
		Téléphonie mobile	29	1744	0.03	0.04	0.09	0.17	0.31	0.62	1.23
	Radio/TV	4	240	0.13	0.14	0.19	0.4	0.65	0.75	1.08	0.46
	pas de source primaire HF	24	1482	0.03	0.04	0.09	0.15	0.2	0.3	1.05	0.11
mesure mobile	Source primaire	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
	Téléphonie mobile	29	2785	0.02	0.04	0.08	0.14	0.26	0.64	1.76	0.18
	Radio/TV	4	400	0.05	0.08	0.16	0.27	0.62	0.97	2.21	0.46
	pas de source primaire HF	24	2410	0.01	0.02	0.05	0.09	0.16	0.36	1.13	0.11
Mesure à long terme	Source primaire	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
	Téléphonie mobile	29	247293	0.02	0.04	0.08	0.16	0.3	0.68	1.79	0.22
	Radio/TV	4	34635	0.05	0.06	0.1	0.35	0.6	0.98	1.1	0.5
	pas de source primaire HF	24	206704	0.02	0.03	0.05	0.08	0.15	0.32	1.63	0.1

Tableau 34: Contributions en pourcentage de différents groupes de services de radiocommunication à l'intensité de champ électrique totale, comme indiqué dans la partie droite de la Figure 24. Le calcul est effectué selon l'équation (7). Les groupes de bandes de fréquences suivants sont pris en compte : Downlink (DL), Uplink (UL), Time-Division-Duplex (TDD), radiodiffusion, WLAN et DECT. N désigne le nombre de mesures de site et le nombre de points de données évalués par source primaire est répertorié sous n. La moyenne quadratique (RMS) de l'intensité totale du champ est calculée à l'aide de l'équation (4).

Mesure de courte durée	Source primaire	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Téléphonie mobile	29	1744	0.3	72	0.2	1.2	19.6	5.3	1.7
Radio/TV	4	240	0.48	0.9	0	0	85.5	13.3	0.2	
pas de source primaire HF	24	1482	0.18	30.8	0.4	0.2	22.8	40.2	5.6	
mesure mobile	Source primaire	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Téléphonie mobile	29	2785	0.28	70.2	0.2	0.4	23.6	5	0.5
	Radio/TV	4	400	0.51	2.3	0	0	95.3	2.3	0.1
	pas de source primaire HF	24	2410	0.18	45.2	1.1	0.4	27.7	22.7	3
Mesure à long terme	Source primaire	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodiffusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Téléphonie mobile	29	247293	0.35	80.2	0.1	0.2	18.7	0.4	0.4
	Radio/TV	4	34635	0.54	2.8	0	0.1	96.6	0.3	0.1
	pas de source primaire HF	24	206704	0.24	52.5	0.8	0.5	41.9	4.1	0.1

Tableau 35: Paramètres statistiques de la distribution de l'intensité de champ électrique totale de la Peak RF pour toutes les mesures partielles, comme indiqué dans la moitié gauche de la Figure 25. Le calcul est basé sur l'équation (1). N désigne le nombre de mesures de site et le nombre de points de données évalués par source primaire est listé sous n. L'écart interquartile (IQR) désigne l'intervalle dans lequel se trouvent 50% des valeurs moyennes des données. Les quantiles sont désignés par Q.

				Exposition aux CEM-HF (Peak) (V/m)							
Mesure de courte durée	Source primaire	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
		Téléphonie mobile	29	1744	0.14	0.24	0.72	0.99	2.08	4.34	6.86
	Radio/TV	4	240	0.55	0.6	0.82	1.85	3.06	6.53	9.11	2.24
	pas de source primaire HF	24	1482	0.1	0.21	0.64	1.05	1.9	5.04	9.77	1.26
mesure mobile	Source primaire	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
	Téléphonie mobile	29	2785	0.04	0.19	0.49	0.87	1.62	4.13	10.39	1.13
	Radio/TV	4	400	0.15	0.29	0.5	0.88	2.74	4.91	6.99	2.24
	pas de source primaire HF	24	2410	0.01	0.08	0.27	0.61	1.32	3.58	9.77	1.05
Mesure à long terme	Source primaire	N	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
	Téléphonie mobile	29	247293	0.07	0.22	0.38	0.85	1.56	5.3	9.64	1.18
	Radio/TV	4	34635	0.2	0.24	0.3	1.33	2.44	2.97	6.49	2.14
	pas de source primaire HF	24	206704	0.06	0.13	0.26	0.49	1.11	3.08	8.69	0.85

Tableau 36 Contributions en pourcentage des différents groupes de services de radiocommunication à l'intensité de champ électrique totale, comme indiqué dans la partie droite de la Figure 25. Le calcul est effectué selon l'équation (7). Les groupes de bandes de fréquences suivants sont pris en compte : Downlink (DL), Uplink (UL), Time-Division-Duplex (TDD), radiodiffusion, WLAN et DECT. N désigne le nombre de mesures de site et le nombre de points de données évalués par source primaire est répertorié sous n. La valeur moyenne quadratique (Peak) de l'intensité totale du champ est calculée à l'aide de l'équation (4).

Mesure de courte durée	Source primaire	N	n	Peak (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodif-fusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Téléphonie mobile	29	1744	2.01	61.4	0.2	7.6	5.9	19	5.8
Radio/TV	4	240	2.82	0.8	0.1	0	25.8	72.4	1	
pas de source primaire HF	24	1482	2.1	9.1	0.2	0.2	2.3	82.4	5.7	
mesure mobile	Source primaire	N	n	Peak (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodif-fusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Téléphonie mobile	29	2785	1.82	63.7	0.2	2.7	10.8	21	1.5
	Radio/TV	4	400	2.29	4.4	0.1	0.3	61.8	32.8	0.6
	pas de source primaire HF	24	2410	1.62	24.6	0.7	1.5	5.4	61.8	6
Mesure à long terme	Source primaire	N	n	Peak (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Radiodif-fusion (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Téléphonie mobile	29	247293	2.22	90	0.1	1.2	6.9	1.2	0.6
	Radio/TV	4	34635	1.7	9.5	0.3	1.1	83.1	5	0.9
	pas de source primaire HF	24	206704	1.73	70.1	0.4	2.6	8.8	17.8	0.3

Tableau 37: Minimum, moyenne et maximum de la moyenne quadratique (RMS) de toutes les mesures au sein d'une catégorie de sources primaires. Les valeurs RMS sont calculées selon l'équation (4) et la moyenne est calculée selon l'équation (9). Les valeurs RMS mesurées par l'ExpoM-RF ont été utilisées comme base. Les données sont présentées dans la Figure 26. Le nombre de points de mesure est désigné par n et le nombre de mesures de site par N.

Mesure de courte durée	Source primaire	N	n	Min (V/m)	Valeur moyenne du RMS (V/m)	Max (V/m)
	Téléphonie mobile	29	1744	0.04	0.24	0.67
Radio/TV	4	240	0.16	0.42	0.76	
pas de source primaire HF	24	1482	0.03	0.16	0.37	
mesure mobile	Source primaire	N	n	Min (V/m)	Valeur moyenne du RMS (V/m)	Max (V/m)
	Téléphonie mobile	29	2785	0.05	0.23	0.76
	Radio/TV	4	400	0.16	0.44	0.73
	pas de source primaire HF	24	2410	0.05	0.15	0.43
Mesure à long terme	Source primaire	N	n	Min (V/m)	Valeur moyenne du RMS (V/m)	Max (V/m)
	Téléphonie mobile	29	247293	0.05	0.25	1.23
	Radio/TV	4	34635	0.07	0.4	0.95
	pas de source primaire HF	24	206704	0.03	0.15	0.98

Tableau 38: Minimum, moyenne et maximum de la moyenne quadratique de toutes les mesures au sein d'une catégorie de sources primaires. Les valeurs RMS sont calculées selon l'équation (4) et la moyenne est calculée selon l'équation (9). Les valeurs de mesure des Peaks de l'ExpoM-RF ont été utilisées comme base. Les données sont présentées dans la Figure 27. Le nombre de points de mesure est désigné par n et le nombre de mesures de site par N.

Mesure de courte durée	Source primaire	N	n	Min (V/m)	Valeur moyenne du RMS (V/m)	Max (V/m)
	Téléphonie mobile	29	1744	0.26	1.58	4.93
Radio/TV	4	240	0.63	2.42	4.65	
pas de source primaire HF	24	1482	0.18	1.64	4.61	
mesure mobile	Source primaire	N	n	Min (V/m)	Valeur moyenne du RMS (V/m)	Max (V/m)
	Téléphonie mobile	29	2785	0.29	1.52	4.12
	Radio/TV	4	400	0.52	1.99	3.6
	pas de source primaire HF	24	2410	0.26	1.4	3.14
Mesure à long terme	Source primaire	N	n	Min (V/m)	Valeur moyenne du RMS (V/m)	Max (V/m)
	Téléphonie mobile	29	247293	0.21	1.48	7.43
	Radio/TV	4	34635	0.26	1.33	2.88
	pas de source primaire HF	24	206704	0.12	1.02	7.04

4.2 Paramètres statistiques de l'exposition aux BF

Tableau 39: Paramètres statistiques de la distribution de la densité de flux magnétique totale CM-BF pour toutes les mesures partielles, comme indiqué dans la partie gauche de la Figure 28. Le calcul est basé sur l'équation (2). N désigne le nombre de sites de mesure et le nombre de points de données évalués par source primaire est listé sous n. L'écart interquartile (IQR) désigne l'intervalle dans lequel se trouvent 50% des valeurs moyennes des données. Les quantiles sont désignés par Q. Dans les désignations pour la source primaire, 1sp signifie une voie et 2sp signifie deux voies.

				Exposition aux CM-BF (μ T)							
	Source primaire	N	n	min	Q05	Q25	Médi- ane	Q75	Q95	max	IQR
	Mesure de courte durée	Lignes de chemin de fer 2sp	5	300	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.38	1.02
Lignes de chemin de fer 1sp		4	242	0.02	0.03	0.04	0.06	0.13	0.29	0.63	0.09
Lignes de chemin de fer 2sp Tunnel		1	60	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06	0.09	0.15	0.02
Lignes de chemin de fer 1sp Tunnel		1	60	0.08	0.12	0.18	0.25	0.31	0.42	0.54	0.13
Lignes de tram		1	60	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.02
220/380 kV ligne aérienne		3	180	0.04	0.05	0.06	0.27	1.65	1.67	1.68	1.59
36-150 kV ligne aérienne		3	180	0.02	0.02	0.02	0.18	0.28	0.3	0.3	0.26
1-36 kV ligne aérienne		5	300	0.02	0.02	0.02	0.1	0.2	0.56	0.58	0.18
Postes de transformation		1	60	0.04	0.04	0.07	0.09	0.11	0.14	0.16	0.04
pas de source primaire BF		33	1983	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.23	0.48	0.04
mesure mobile	Source primaire	N	n	min	Q05	Q25	Médi- ane	Q75	Q95	max	IQR
	Lignes de chemin de fer 2sp	5	501	0.02	0.03	0.05	0.09	0.19	0.35	0.93	0.14
	Lignes de chemin de fer 1sp	4	401	0.03	0.03	0.04	0.07	0.12	0.25	0.56	0.08
	Lignes de chemin de fer 2sp Tunnel	1	100	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.11	0.18	0.02
	Lignes de chemin de fer 1sp Tunnel	1	101	0.09	0.13	0.17	0.23	0.3	0.4	0.56	0.13
	Lignes de tram	1	100	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08	0.18	0.23	0.04
	220/380 kV ligne aérienne	3	301	0.04	0.04	0.05	0.33	1.22	1.85	2.07	1.17

	36-150 kV ligne aérienne	3	300	0.02	0.02	0.02	0.16	0.2	0.27	0.33	0.18
	1-36 kV ligne aérienne	5	501	0.01	0.02	0.02	0.09	0.18	1.49	1.66	0.16
	Postes de transformation	1	100	0.03	0.04	0.05	0.07	0.1	0.13	0.16	0.05
	pas de source primaire BF	33	3223	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.25	0.56	0.04
Mesure à long terme	Source primaire	N	n	min	Q05	Q25	Médi- ane	Q75	Q95	max	IQR
	Lignes de chemin de fer 2sp	5	43200	0.02	0.03	0.04	0.07	0.12	0.28	1.11	0.08
	Lignes de chemin de fer 1sp	4	34543	0.01	0.02	0.03	0.05	0.09	0.26	1.09	0.06
	Lignes de chemin de fer 2sp Tunnel	1	8640	0.02	0.04	0.14	1.32	1.35	1.39	2.92	1.21
	Lignes de chemin de fer 1sp Tunnel	1	8640	0.05	0.1	0.13	0.18	0.23	0.34	0.76	0.1
	Lignes de tram	1	8640	0.03	0.04	0.06	0.09	0.13	0.25	0.77	0.07
	220/380 kV ligne aérienne	3	25823	0.01	0.03	0.11	0.3	1.51	1.86	2.07	1.4
	36-150 kV ligne aérienne	3	25091	0.01	0.02	0.03	0.17	0.29	0.35	0.4	0.26
	1-36 kV ligne aérienne	5	43158	0.01	0.02	0.02	0.08	0.2	0.45	0.8	0.18
	Postes de transformation	1	8640	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.15	0.45	0.04
	pas de source primaire BF	33	290014	0.01	0.02	0.03	0.04	0.08	0.18	1.26	0.05

Tableau 40: Contributions en pourcentage des différentes sources CM-BF à la densité de flux magnétique totale, comme indiqué dans la partie droite de la Figure 28. Le calcul est effectué selon l'équation (8). Les catégories de sources suivantes sont prises en compte : Courant ferroviaire, alimentation électrique et courant ondulé des trams. N désigne le nombre de sites de mesure et le nombre de points de données évalués par source primaire est répertorié sous n. La valeur moyenne quadratique (RMS) de la densité de flux magnétique totale est calculée à l'aide de l'équation (6). Dans les désignations de la source primaire, 1sp signifie une voie et 2sp signifie deux voies.

Mesure de courte durée	Source primaire	N	n	RMS (μ T)	Courant ferrovi- aire (%)	Alimenta- tion électrique (%)	Courant d'on- dulation du tram (%)
	Lignes de chemin de fer 2sp	5	300	0.2	98.9	1	0.1
	Lignes de chemin de fer 1sp	4	242	0.14	95.1	4.8	0.2

	Lignes de chemin de fer 2sp Tunnel	1	60	0.06	93.4	5.7	1
	Lignes de chemin de fer 1sp Tunnel	1	60	0.27	75.5	24.5	0
	Lignes de tram	1	60	0.04	65.5	31.6	3
	220/380 kV ligne aérienne	3	180	0.97	0	100	0
	36-150 kV ligne aérienne	3	180	0.2	11.6	88.3	0.1
	1-36 kV ligne aérienne	5	300	0.26	0.5	99.5	0.1
	Postes de transformation	1	60	0.1	23.1	76.7	0.2
	pas de source primaire BF	33	1983	0.1	36.3	63.1	0.6
mesure mobile	Source primaire	N	n	RMS (μT)	Courant ferrovi- aire (%)	Alimenta- tion électrique (%)	Courant d'on- dulation du tram (%)
	Lignes de chemin de fer 2sp	5	501	0.18	97.8	2.1	0.1
	Lignes de chemin de fer 1sp	4	401	0.12	90.6	9.1	0.3
	Lignes de chemin de fer 2sp Tunnel	1	100	0.07	82.1	17	0.9
	Lignes de chemin de fer 1sp Tunnel	1	101	0.26	70.4	29.6	0.1
	Lignes de tram	1	100	0.09	66.4	30.7	3
	220/380 kV ligne aérienne	3	301	0.9	0	100	0
	36-150 kV ligne aérienne	3	300	0.16	13.1	86.8	0.1
	1-36 kV ligne aérienne	5	501	0.56	0.2	99.8	0
	Postes de transformation	1	100	0.08	23.7	75.9	0.4
	pas de source primaire BF	33	3223	0.11	33.6	66	0.5
Mesure à long terme	Source primaire	N	n	RMS (μT)	Courant ferrovi- aire (%)	Alimenta- tion électrique (%)	Courant d'on- dulation du tram (%)
	Lignes de chemin de fer 2sp	5	43200	0.14	96.2	3.6	0.2
	Lignes de chemin de fer 1sp	4	34543	0.12	93.2	6.5	0.3
	Lignes de chemin de fer 2sp Tunnel	1	8640	1.15	0.6	99.4	0

Mesures d'exposition au rayonnement non
 Rapport annuel 2023 - Consortium de projet SwissNIS
 23.05.2024

Lignes de chemin de fer 1sp Tunnel	1	8640	0.21	58.9	41	0.1
Lignes de tram	1	8640	0.13	78.7	17.4	4
220/380 kV ligne aérienne	3	25823	0.97	0	100	0
36-150 kV ligne aérienne	3	25091	0.21	6.5	93.4	0.1
1-36 kV ligne aérienne	5	43158	0.21	0.8	99.1	0.1
Postes de transformation	1	8640	0.09	12.2	87.5	0.3
pas de source primaire BF	33	290014	0.09	31.3	68.2	0.5

Tableau 41: Minimum, moyenne et maximum de la moyenne arithmétique de la densité de flux magnétique pour chaque source primaire. Le calcul des moyennes arithmétiques s'effectue ici selon l'équation (5) et la valeur moyenne est calculée selon l'équation (10). Les données sont représentées dans la Figure 29. Le nombre de points de mesure est désigné par n et le nombre de sites de mesure est exprimé par N.

	Source primaire	N	n	Minimum de la moyenne arithmétique (μT)	Moyenne de la moyenne arithmétique (μT)	Maximum de la moyenne arithmétique (μT)
	Mesure de courte durée	Lignes de chemin de fer 2sp	5	300	0.04	0.15
Lignes de chemin de fer 1sp		4	242	0.05	0.1	0.22
Lignes de chemin de fer 2sp Tunnel		1	60	0.06	0.06	0.06
Lignes de chemin de fer 1sp Tunnel		1	60	0.25	0.25	0.25
Lignes de tram		1	60	0.04	0.04	0.04
220/380 kV ligne aérienne		3	180	0.05	0.66	1.66
36-150 kV ligne aérienne		3	180	0.02	0.16	0.29
1-36 kV ligne aérienne		5	300	0.02	0.18	0.55
Postes de transformation		1	60	0.09	0.09	0.09
pas de source primaire BF		33	1983	0.02	0.07	0.37
mesure mobile		Source primaire	N	n	Minimum de la moyenne arithmétique (μT)	Moyenne de la moyenne arithmétique (μT)
	Lignes de chemin de fer 2sp	5	501	0.04	0.14	0.23
	Lignes de chemin de fer 1sp	4	401	0.04	0.09	0.18
	Lignes de chemin de fer 2sp Tunnel	1	100	0.06	0.06	0.06
	Lignes de chemin de fer 1sp Tunnel	1	101	0.25	0.25	0.25
	Lignes de tram	1	100	0.07	0.07	0.07

	220/380 kV ligne aérienne	3	301	0.05	0.62	1.48
	36-150 kV ligne aérienne	3	300	0.02	0.14	0.23
	1-36 kV ligne aérienne	5	501	0.02	0.3	1.19
	Postes de transformation	1	100	0.08	0.08	0.08
	pas de source primaire BF	33	3223	0.02	0.07	0.38
Mesure à long terme	Source primaire	N	n	Minimum de la moyenne arithmétique (μT)	Moyenne de la moyenne arithmétique (μT)	Maximum de la moyenne arithmétique (μT)
	Lignes de chemin de fer 2sp	5	43200	0.05	0.1	0.16
	Lignes de chemin de fer 1sp	4	34543	0.04	0.08	0.14
	Lignes de chemin de fer 2sp Tunnel	1	8640	0.98	0.98	0.98
	Lignes de chemin de fer 1sp Tunnel	1	8640	0.19	0.19	0.19
	Lignes de tram	1	8640	0.11	0.11	0.11
	220/380 kV ligne aérienne	3	25823	0.07	0.68	1.65
	36-150 kV ligne aérienne	3	25091	0.03	0.17	0.31
	1-36 kV ligne aérienne	5	43158	0.02	0.14	0.41
	Postes de transformation	1	8640	0.08	0.08	0.08
	pas de source primaire BF	33	290014	0.02	0.07	0.25

V Caractéristiques statistiques des mesures permanentes stationnaires

5.1 Emplacements des antennes de téléphonie mobile à proximité des stations de mesure permanentes

SMP site G+P Neuchâtel

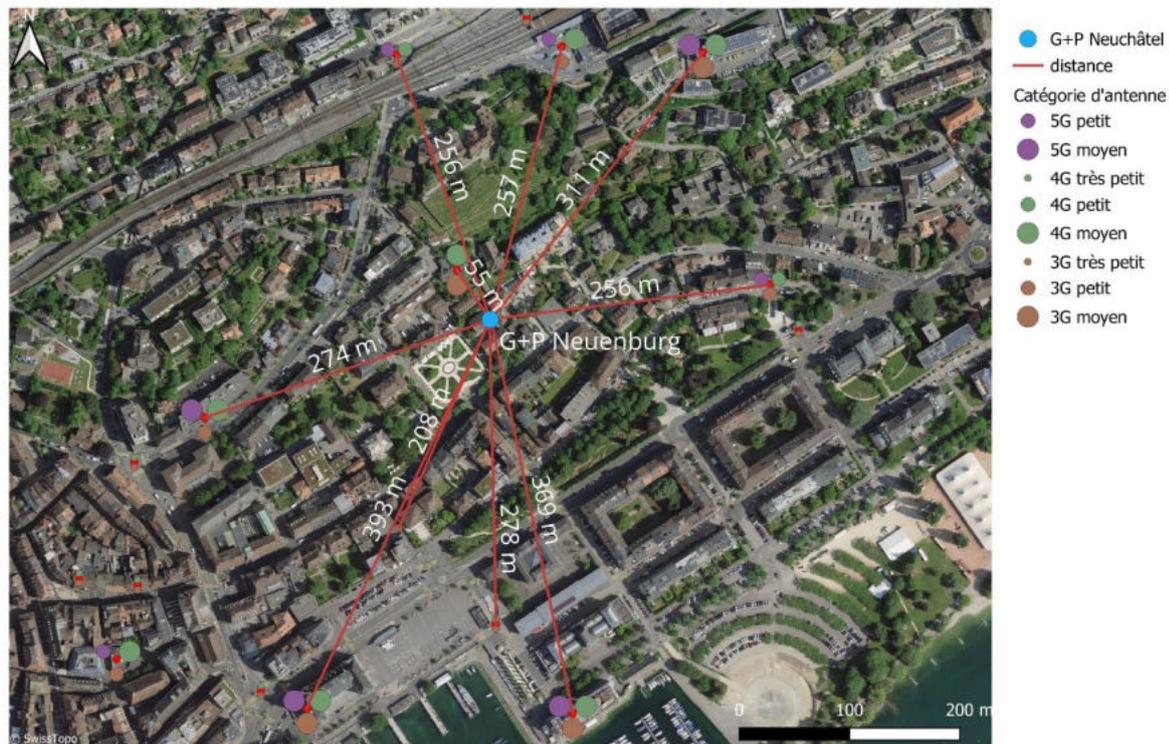


Figure 43: Emplacements des antennes de téléphonie mobile dans les environs immédiats de la station de mesure permanente de Neuchâtel, classés selon la norme de téléphonie mobile et la puissance d'émission [21]. Les lignes de distance rouges doivent être considérées comme les distances horizontales les plus courtes entre l'antenne et le capteur d'intensité de champ. Les différences de hauteur ne sont pas prises en compte. En l'absence d'informations sur l'orientation azimutale des secteurs d'antennes, il est impossible d'estimer la contribution des différentes antennes.

SMP site G+P Deitingen



Figure 44: Emplacements des antennes de téléphonie mobile dans les environs immédiats de la station de mesure permanente de Deitingen, classés selon la norme de téléphonie mobile et la puissance d'émission [21]. Les lignes de distance rouges doivent être considérées comme les distances horizontales les plus courtes entre l'antenne et le capteur d'intensité de champ. Les différences de hauteur ne sont pas prises en compte. En l'absence d'informations sur l'orientation azimutale des secteurs d'antennes, il est impossible d'estimer la contribution des différentes antennes.

SMP site G+P Aarau

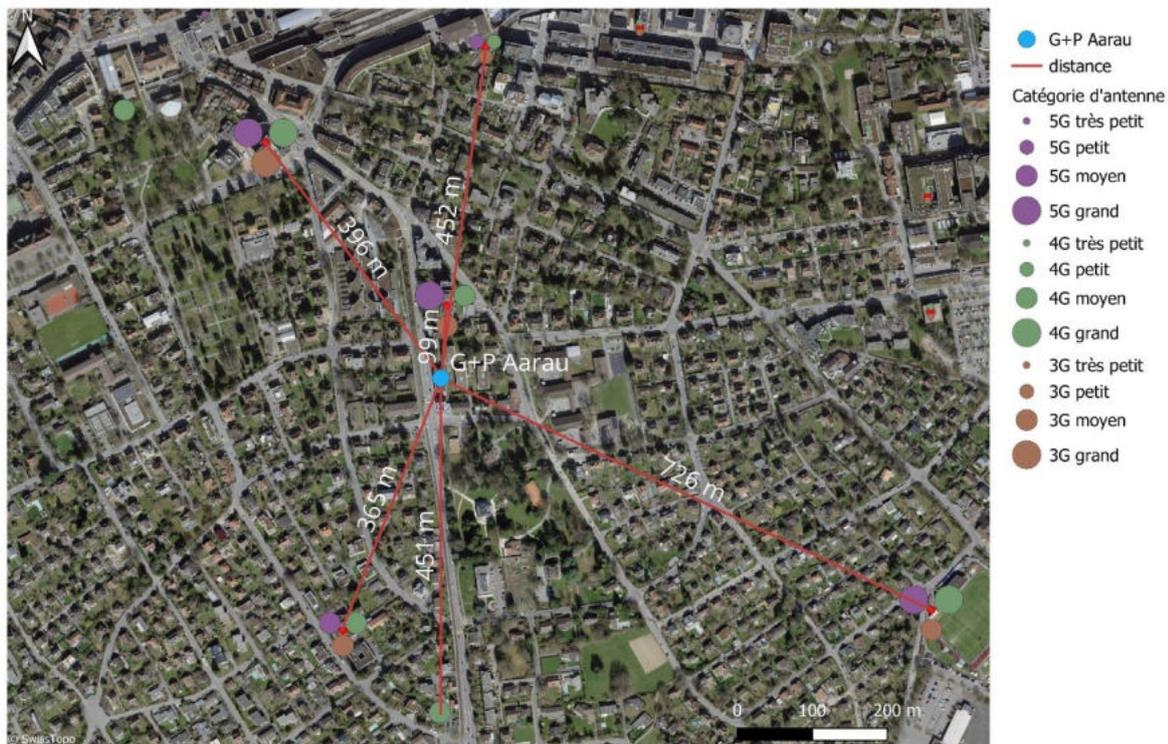


Figure 45: Emplacements des antennes de téléphonie mobile dans les environs immédiats de la station de mesure permanente d'Aarau, classés selon la norme de téléphonie mobile et la puissance d'émission [21]. Les lignes de distance rouges doivent être considérées comme les distances horizontales les plus courtes entre l'antenne et le capteur d'intensité de champ. Les différences de hauteur ne sont pas prises en compte. Comme on ne dispose pas d'informations sur l'orientation azimutale des secteurs d'antennes, il est impossible d'estimer la contribution des différentes antennes.

SMP site TPH Allschwil

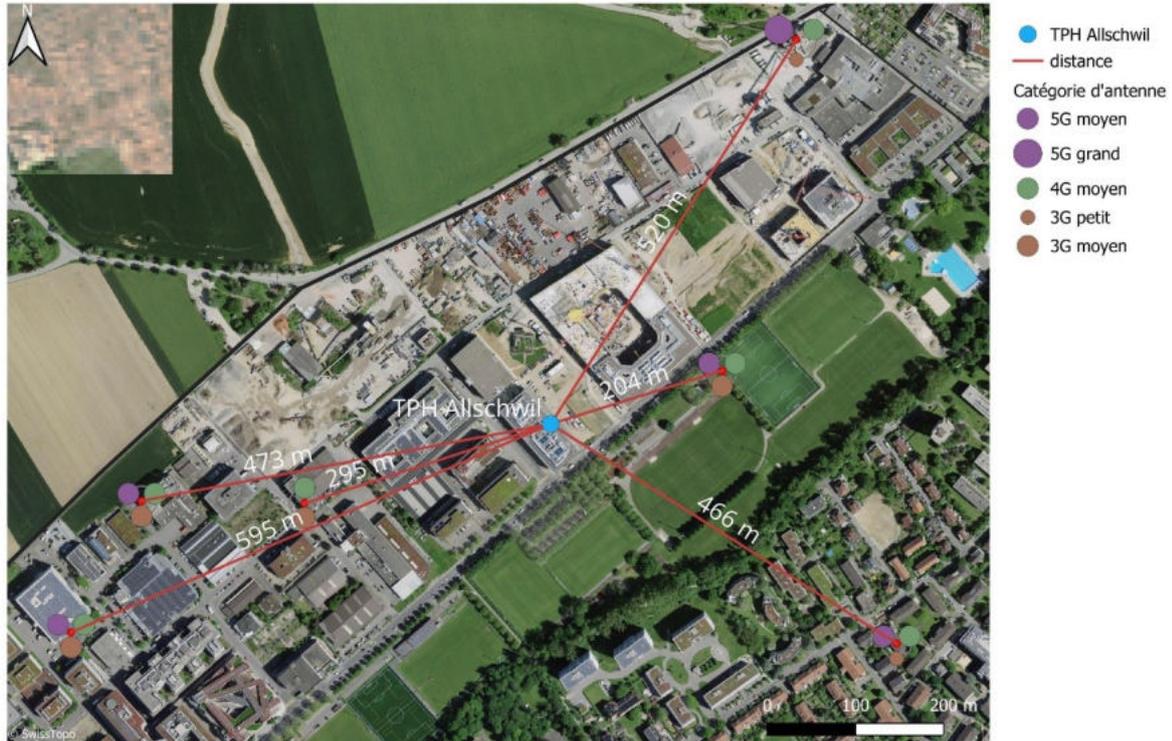


Figure 46: Emplacements des antennes de téléphonie mobile dans les environs immédiats de la station de mesure permanente d'Allschwil, classés selon la norme de téléphonie mobile et la puissance d'émission [21]. Les lignes de distance rouges doivent être considérées comme les distances horizontales les plus courtes entre l'antenne et le capteur d'intensité de champ. Les différences de hauteur ne sont pas prises en compte. Comme on ne dispose pas d'informations sur l'orientation azimutale des secteurs d'antennes, il est impossible d'estimer la contribution des différentes antennes.

SMP site FaW ETH Zurich

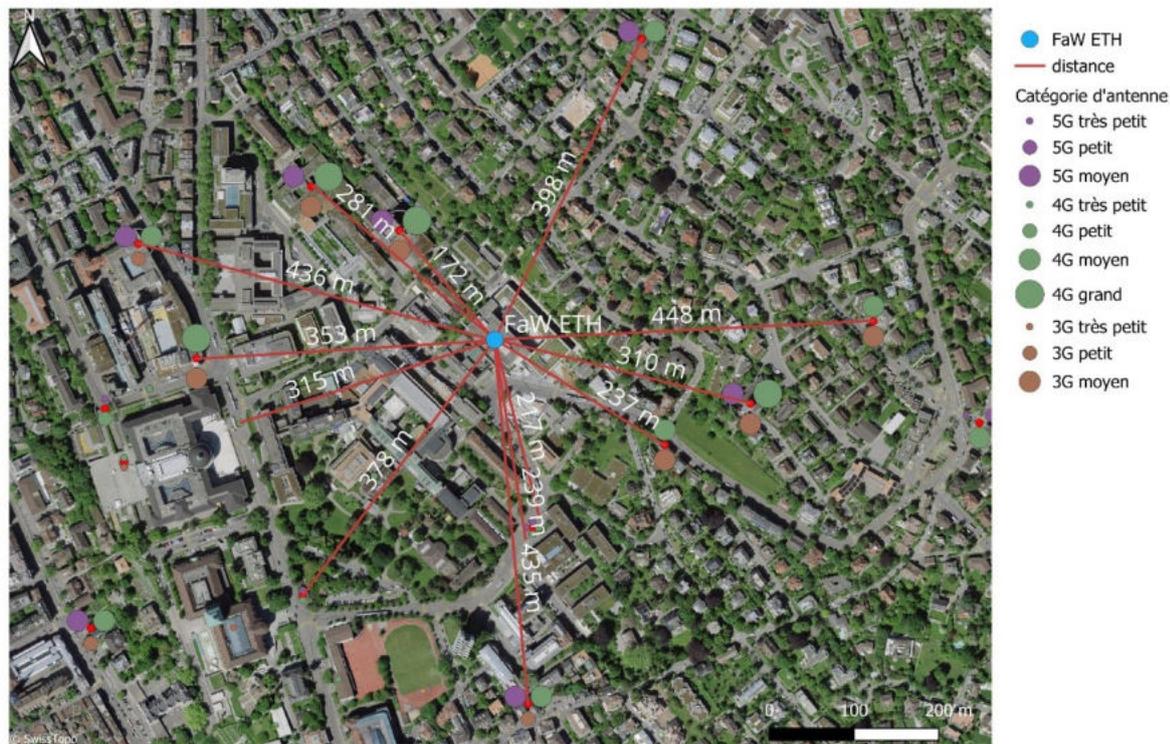


Figure 47: Emplacements des antennes de téléphonie mobile dans les environs immédiats de la station de mesure permanente de Zürich, classés selon la norme de téléphonie mobile et la puissance d'émission [21]. Les lignes de distance rouges doivent être considérées comme les distances horizontales les plus courtes entre l'antenne et le capteur d'intensité de champ. Les différences de hauteur ne sont pas prises en compte. En l'absence d'informations sur l'orientation azimutale des secteurs d'antennes, il est impossible d'estimer la contribution des différentes antennes.

5.2 Evolution temporelle de l'intensité de champ regroupée par groupes de services radio

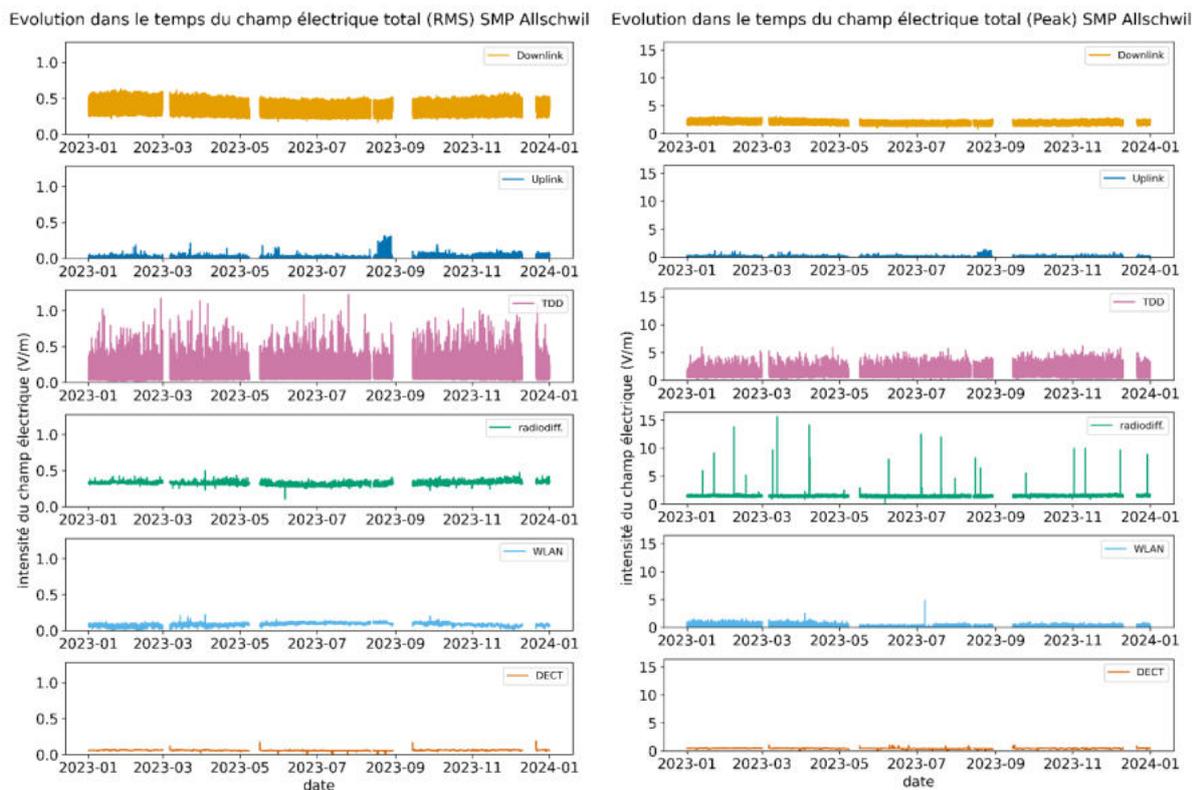


Figure 48: évolution de l'intensité de champ électrique des mesures permanentes pour l'année 2023 sur le site du TPH à Allschwil, regroupée par catégorie de source. La partie gauche du graphique montre les valeurs RMS et les valeurs de Peak correspondantes sont représentées dans la partie droite.

Mesures d'exposition au rayonnement non
 Rapport annuel 2023 - Consortium de projet SwissNIS
 23.05.2024

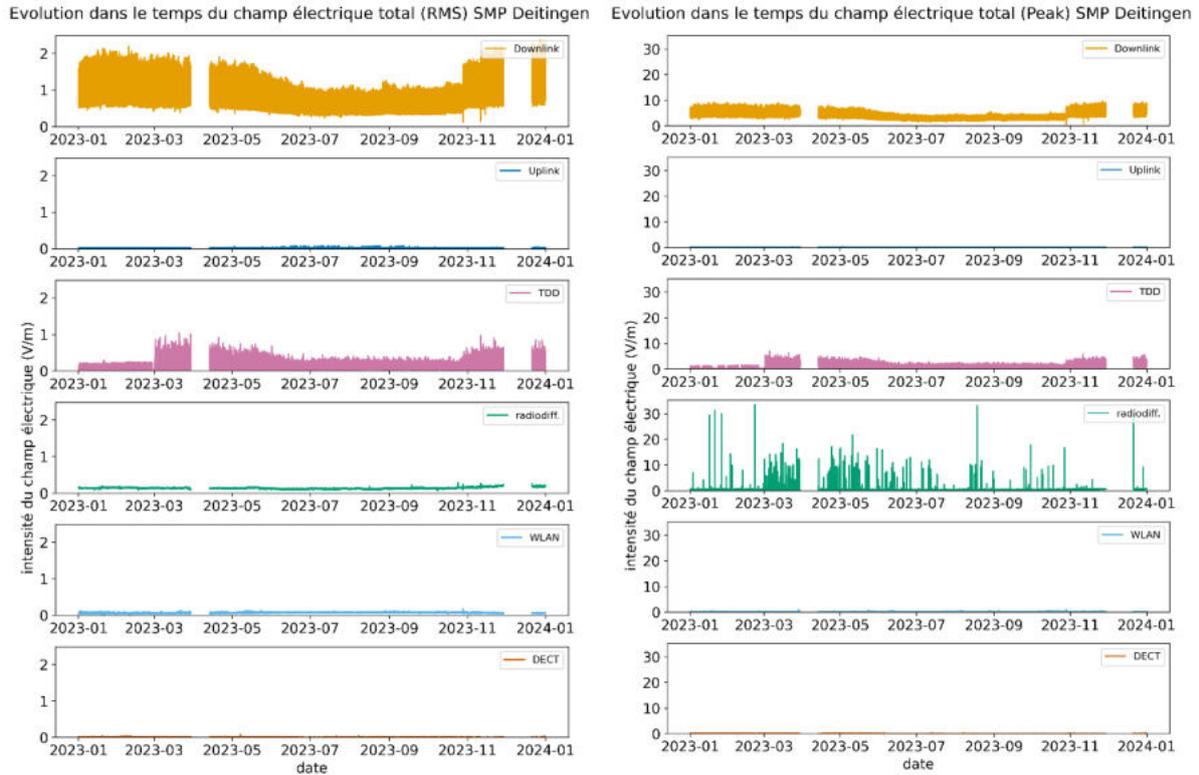


Figure 49: évolution de l'intensité de champ électrique des mesures permanentes pour l'année 2023 sur le site G+P de Deitingen, regroupée par catégorie de source. La partie gauche du graphique montre les valeurs RMS et les valeurs de Peak correspondantes sont représentées dans la partie droite.

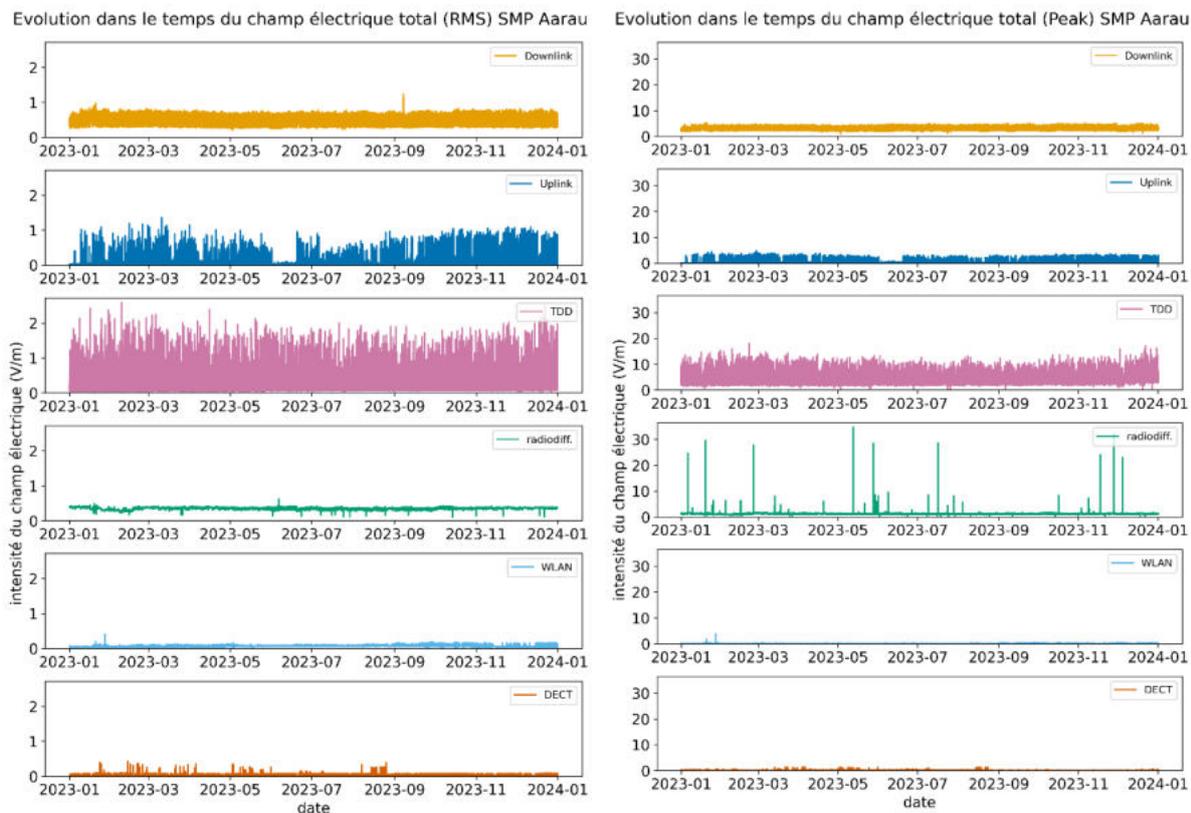


Figure 50: évolution de l'intensité de champ électrique des mesures permanentes pour l'année 2023 sur le site G+P d'Aarau, regroupée par catégorie de source. La partie gauche du graphique montre les valeurs RMS et les valeurs de Peak correspondantes sont représentées dans la partie droite.

Mesures d'exposition au rayonnement non
 Rapport annuel 2023 - Consortium de projet SwissNIS
 23.05.2024

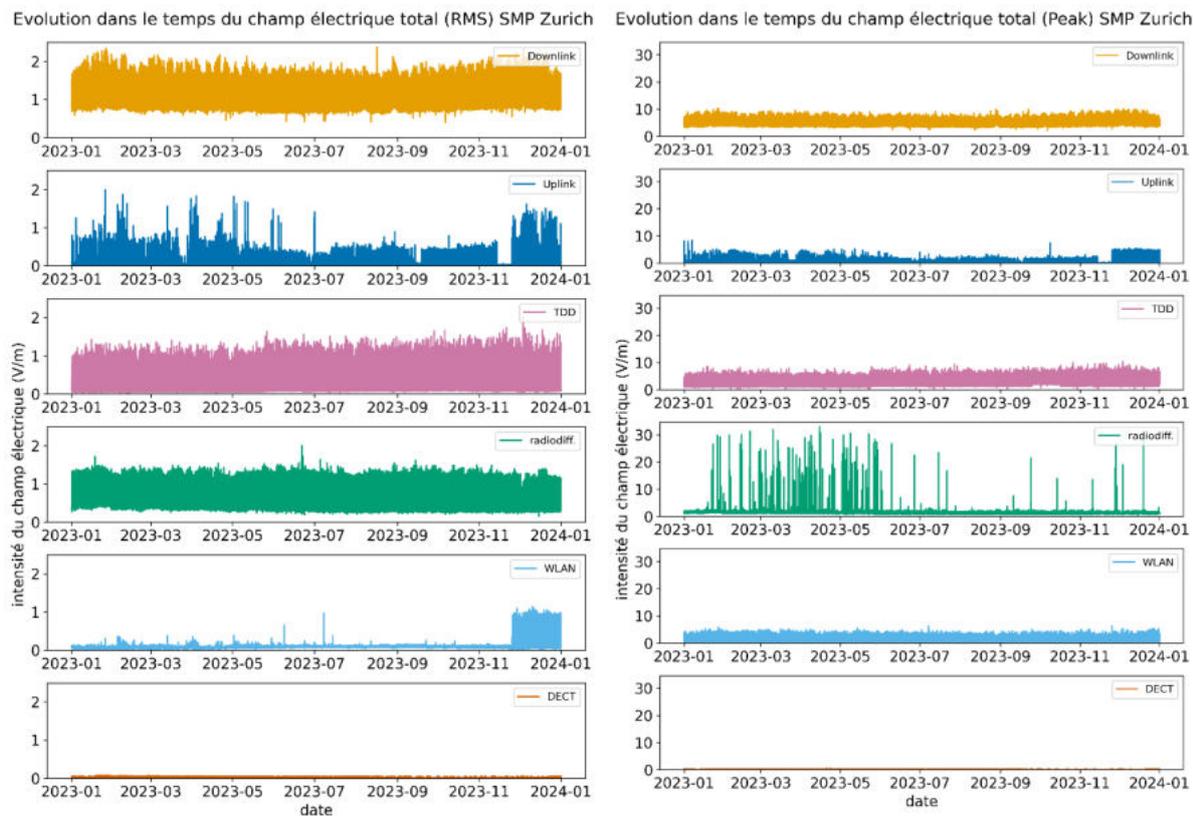


Figure 51: évolution de l'intensité de champ électrique des mesures permanentes pour l'année 2023 sur le site Fields at Work à Zürich, regroupée par catégorie de source. La partie gauche du graphique montre les valeurs RMS et les valeurs de Peak correspondantes sont représentées dans la partie droite. Lors de la mesure à Zürich, on ne peut pas exclure une autre influence due aux immissions de la bande ISM. Les valeurs d'intensité de champ pour les deux bandes sus-mentionnées et leurs catégories de service sont sujettes à une certaine incertitude pour les trois sites équipés d'un modem de téléphonie mobile.

5.3 Paramètres statistiques

Tableau 42: Paramètres statistiques pour la distribution de l'intensité de champ électrique (RMS) des cinq stations de mesure permanentes. Les grandeurs caractéristiques sont indiquées pour les catégories de sources suivantes : Downlink, Uplink, TDD (Time Division Duplex), radiodiffusion, WLAN et DECT. Les valeurs pour la répartition de l'intensité de champ totale sont listées sous Total. Le calcul est effectué selon l'équation (1). Le nombre de points de données évalués par catégorie de sources est indiqué sous n. L'écart interquartile (IQR) désigne l'intervalle dans lequel se trouvent 50% des valeurs moyennes des données. Les quantiles sont désignés par Q.

			Exposition aux CEM-HF (RMS) (V/m)							
	Source primaire	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
	Neuchâtel	Lien descendant	2621255	0.09	0.14	0.2	0.24	0.28	0.37	1.31
Uplink		2621255	0	0	0.01	0.01	0.05	0.14	0.58	0.04
TDD		2621255	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.09	0.39	0.03
Radio		2621255	0.07	0.09	0.09	0.1	0.12	0.13	0.16	0.03
WLAN		2621255	0.01	0.02	0.03	0.06	0.08	0.09	0.25	0.05
DECT		2621255	0	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	0.1	0.01
Total		2621255	0.14	0.19	0.25	0.28	0.32	0.41	1.32	0.07
		Source primaire	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Deitingen	Lien descendant	2837281	0.11	0.38	0.49	0.63	0.81	1.3	2.37	0.32
	Uplink	2837281	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	0.01
	TDD	2837281	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.09	1.04	0.02
	Radio	2837281	0.07	0.1	0.12	0.13	0.15	0.18	0.29	0.03
	WLAN	2837281	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.18	0.02
	DECT	2837281	0	0	0	0	0.01	0.01	0.08	0.01
	Total	2837281	0.19	0.4	0.51	0.65	0.83	1.31	2.38	0.32
		Source primaire	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Aarau	Lien descendant	3137744	0.2	0.32	0.4	0.48	0.55	0.63	1.24	0.15
	Uplink	3137744	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.15	1.36	0.01
	TDD	3137744	0.02	0.09	0.11	0.13	0.16	0.26	2.59	0.05
	Radio	3137744	0.1	0.3	0.34	0.36	0.38	0.4	0.63	0.04
	WLAN	3137744	0.01	0.02	0.03	0.06	0.07	0.09	0.41	0.04
	DECT	3137744	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.44	0.01
	Total	3137744	0.38	0.5	0.56	0.62	0.68	0.77	2.67	0.12

Allschwil	Source primaire	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
	Lien descendant	2780519	0.17	0.25	0.34	0.39	0.43	0.48	0.63	0.09
	Uplink	2780519	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.31	0.01
	TDD	2780519	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.14	1.22	0.04
	Radio	2780519	0.1	0.29	0.31	0.32	0.33	0.35	0.5	0.02
	WLAN	2780519	0.01	0.03	0.06	0.08	0.1	0.12	0.22	0.04
	DECT	2780519	0.01	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.19	0.01
	Total	2780519	0.37	0.42	0.48	0.52	0.56	0.6	1.33	0.08
	Zürich	Source primaire	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
Lien descendant	3153757	0.4	0.74	0.86	1.06	1.33	1.62	2.38	0.47	
Uplink	3153757	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	1.99	0.02	
TDD	3153757	0.02	0.07	0.11	0.15	0.21	0.39	2.01	0.1	
Radio	3153757	0.15	0.27	0.28	0.3	0.35	0.42	2	0.07	
WLAN	3153757	0.01	0.03	0.06	0.07	0.09	0.1	1.14	0.03	
DECT	3153757	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.02	
Total	3153757	0.53	0.81	0.94	1.13	1.4	1.69	2.54	0.46	

Tableau 43: Paramètres statistiques pour la distribution de l'intensité de champ électrique (Peak) des cinq stations de mesure permanentes. Les grandeurs caractéristiques sont indiquées pour les catégories de sources suivantes : Downlink, Uplink, TDD (Time Division Duplex), radiodiffusion, WLAN et DECT. Les valeurs pour la répartition de l'intensité de champ totale sont listées sous Total. Le calcul est effectué selon l'équation (1). Le nombre de points de données évalués par catégorie de sources est indiqué sous n. L'écart interquartile (IQR) désigne l'intervalle dans lequel se trouvent 50% des valeurs moyennes des données. Les quantiles sont désignés par Q.

			Exposition aux CEM-HF (Peak) (V/m)							
	Source primaire	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
Neuchâtel	Lien descendant	2621255	0.43	0.74	0.96	1.14	1.4	1.87	3.74	0.44
	Uplink	2621255	0	0	0.01	0.01	0.07	0.16	2.53	0.06
	TDD	2621255	0.01	0.13	0.26	0.36	0.51	0.85	4.88	0.25
	Radio	2621255	0.08	0.15	0.22	0.27	0.31	0.37	10.26	0.09
	WLAN	2621255	0.01	0.03	0.05	0.06	0.07	0.09	1.61	0.02
	DECT	2621255	0.01	0.1	0.13	0.16	0.22	0.34	0.7	0.09
	Total	2621255	0.48	0.88	1.08	1.27	1.54	2.02	10.33	0.46
	Source primaire	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
Deitingen	Lien descendant	2837281	0.63	2.4	2.94	3.75	4.64	6.17	9.7	1.7
	Uplink	2837281	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.34	0.02
	TDD	2837281	0.02	0.25	0.56	0.76	1	1.59	7.11	0.44
	Radio	2837281	0.12	0.25	0.31	0.36	0.42	0.53	33.57	0.11
	WLAN	2837281	0.01	0.04	0.06	0.11	0.16	0.24	1.06	0.1
	DECT	2837281	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.29	0.01
	Total	2837281	0.79	2.54	3.07	3.86	4.78	6.28	34.06	1.71
	Source primaire	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
Aarau	Lien descendant	3137744	1.05	2.41	2.71	2.94	3.2	3.62	5.4	0.49
	Uplink	3137744	0	0.01	0.02	0.03	0.15	0.84	4.98	0.13
	TDD	3137744	0.31	2.62	3.29	3.79	4.39	5.47	18.07	1.1
	Radio	3137744	0.14	0.97	1.1	1.21	1.28	1.39	34.73	0.18
	WLAN	3137744	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.14	3.96	0.03
	DECT	3137744	0.01	0.09	0.11	0.13	0.16	0.3	1.44	0.05
	Total	3137744	2.53	4.05	4.58	5	5.51	6.43	35.02	0.93

	Source primaire	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max	IQR
	Allschwil	Lien descendant	2780519	0.92	1.57	1.81	1.97	2.12	2.35	3.15
Uplink		2780519	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.06	1.34	0.01
TDD		2780519	0.23	0.67	0.93	1.22	1.48	1.83	6.2	0.55
Radio		2780519	0.21	1.24	1.33	1.4	1.46	1.55	15.65	0.13
WLAN		2780519	0.01	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	4.87	0.02
DECT		2780519	0.03	0.32	0.38	0.42	0.45	0.5	1.02	0.07
Total		2780519	1.74	2.32	2.57	2.76	2.95	3.21	15.83	0.38
Zürich		Source primaire	n	min	Q05	Q25	Médiane	Q75	Q95	max
	Lien descendant	3153757	2.1	3.95	4.55	5.25	5.98	6.95	10.25	1.43
	Uplink	3153757	0	0.03	0.06	0.08	0.1	0.62	8.25	0.04
	TDD	3153757	0.15	1.42	1.83	2.26	2.92	3.73	10.36	1.09
	Radio	3153757	0.41	0.89	0.99	1.07	1.22	1.4	33.02	0.23
	WLAN	3153757	0.01	0.08	0.18	0.29	0.47	0.96	6.38	0.29
	DECT	3153757	0.04	0.05	0.07	0.1	0.13	0.16	0.54	0.06
	Total	3153757	2.85	4.57	5.25	5.96	6.72	7.74	33.43	1.47

VI Liste des sites de mesures spot

Tableau 44: Liste des mesures spot avec la commune où à eu lieu la mesure, l'ID du microenvironnement et l'utilisation du bâtiment.

ID du spot	Commune	Source primaire	Type de maison	Utilisation du bâtiment Lieu de mesure	Utilisation du bâtiment en haut	Utilisation du bâtiment en bas
spot_SN004	Frick	Lignes de chemin de fer 2sp	Maison individuelle	Habiter	Habiter	Cave
spot_SN025	Gonten	36-150 kV ligne aérienne	Maison individuelle	Habiter	Habiter	Cave
spot_SN027	Ettiswil	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Habiter
spot_SN027A	Ettiswil	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Habiter
spot_SN065	Frauenfeld	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	pas de	Habiter
spot_SN065A	Frauenfeld	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Cave
spot_SN082	Winterthur	Radio/TV	MFH	Habiter	Chape	Habiter
spot_mp001	Lungern	220/380 kV ligne aérienne	Ferme	Habiter	Habiter	sans sous-sol
spot_mp002	Münchenstein	220/380 kV ligne aérienne	Maison individuelle	Habiter	Habiter	sans sous-sol
spot_mp003	Münchenstein	Lignes de tram	MFH	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp005	Dübendorf	Lignes de chemin de fer 2sp	Maison bifamiliale	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp011	Lugano	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp011A	Lugano	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp012A	Münchenstein	Téléphonie mobile	Maison individuelle	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp013	Zürich	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp013A	Zürich	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp015	Grellingen	Téléphonie mobile	Maison individuelle	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp017	Dübendorf	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp017A	Dübendorf	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp018	Zürich	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp018A	Zürich	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp019	Soleure	Lignes de chemin de fer 1sp	Maison individuelle	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp020	Zermatt	Lignes de chemin de fer 1sp	MFH	Habiter	Chape	Habiter
spot_mp021	Deitingen	Lignes de chemin de fer 2sp	MFH	Habiter	Chape	Habiter
spot_mp024	Schwyz	Téléphonie mobile	autre	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp028	Delémont	Radio/TV	MFH	Habiter	Habiter	Service
spot_mp032	Herisau	Téléphonie mobile	Maison mitoyenne	Habiter	Chape	Habiter
spot_mp033	Brienz	Téléphonie mobile	Maison individuelle	Habiter	Habiter	Habiter

ID du spot	Commune	Source primaire	Type de maison	Utilisation du bâtiment Lieu de mesure	Utilisation du bâtiment en haut	Utilisation du bâtiment en bas
spot_mp034	Winterthur	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Chape	Habiter
spot_mp034A	Winterthur	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp037	Montmagny	Radio/TV	Maison individuelle	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp040	Landquart	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp041	Erstfeld	Lignes de chemin de fer 2sp	Maison individuelle	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp042	Neuhausen am Rheinfall	Téléphonie mobile	Maison individuelle	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp043	Pfäffikon	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp044	Saint-Gall	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp046	Ennenda	Lignes de chemin de fer 1sp	Maison mitoyenne	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp047	Laufenburg	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp047A	Laufenburg	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp050	Disentis	Lignes de chemin de fer 1sp Tunnel	Maison bifamiliale	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp052	Viège	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp052A	Viège	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Bureau
spot_mp054	Zernez	36-150 kV ligne aérienne	Maison individuelle	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp055	Winterthur	220/380 kV ligne aérienne	Maison mitoyenne	Habiter	Chape	Habiter
spot_mp057	Châtillon	36-150 kV ligne aérienne	Maison individuelle	Habiter	Chape	Cave
spot_mp061	Soleure	Postes de transformation	MFH	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp064	Igis	Radio/TV	Maison individuelle	Habiter	Habiter	sans sous-sol
spot_mp069	Laufenburg	Lignes de chemin de fer 1sp	Maison individuelle	Habiter	Chape	Habiter
spot_mp075	Biel/Bienne	Lignes de chemin de fer 2sp Tunnel	Maison mitoyenne	Habiter	Habiter	autre
spot_mp078	Biel/Bienne	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp078A	Biel/Bienne	Téléphonie mobile	MFH	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp089	Unterlunkhofen	1-36 kV ligne aérienne	Maison individuelle	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp090	Jonen	1-36 kV ligne aérienne	Maison individuelle	Habiter	Habiter	Habiter
spot_mp091	Ziegelbrücke	1-36 kV ligne aérienne	Maison bifamiliale	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp092	Riedern	1-36 kV ligne aérienne	MFH	Habiter	pas de	Habiter
spot_mp094	Bowil	Lignes de chemin de fer 2sp	Maison individuelle	Habiter	Habiter	Cave
spot_mp096	Bätterkinden	1-36 kV ligne aérienne	Maison mitoyenne	Habiter	Habiter	Cave

Tableau 45: liste des informations détaillées sur les mesures. Pour les mesures de courte durée, l'étage ainsi que l'utilisation de la pièce sont indiqués. Pour les mesures mobiles, le nombre d'étages et de pièces traversés est indiqué. Les mesures de longue durée ont généralement lieu dans la chambre à coucher. Le tableau contient des indications sur l'étage et la position de l'appareil de mesure. Les types d'étages suivants ont été pris en compte : DG (étage mansardé), EG (rez-de-chaussée), OG (étage supérieur), UG (sous-sol).

ID du spot	Étage Mesure de courte durée	Utilisation de l'espace Mesure à court terme	Nombre d'étages mesure mobile	Nombre de chambres mesure mobile	Étage Mesure à long terme	Position de l'instrument de mesure Mesure à long terme
spot_SN004	CE	Habiter	3	7	OG1	Chaise à côté du lit
spot_SN025	CE	Habiter	3	10	OG1	Table de nuit
spot_SN027	OG1	Habiter	2	8	OG1	Table de nuit
spot_SN027A	CE	Habiter	1	5	CE	Table de nuit
spot_SN065	OG2	Habiter	1	7	OG2	Table de nuit
spot_SN065A	CE	Habiter	1	5	CE	Table de nuit
spot_SN082	OG2	Habiter	1	4	OG2	Structure arrière pour le lit
spot_mp001	OG1	autre	2	2	OG1	autre
spot_mp002	CE	Habiter	3	8	OG1	Chaise à côté du lit
spot_mp003	OG1	Habiter	1	5	OG1	Sol à côté du lit
spot_mp005	CE	Habiter	1	9	CE	Table de nuit
spot_mp011	DG	Habiter	1	4	DG	autre
spot_mp011A	CE	Bureau/Salle de travail	1	5	CE	autre
spot_mp012A	CE	Habiter	1	5	CE	autre
spot_mp013	DG	Habiter	1	6	DG	Table de nuit
spot_mp013A	CE	Bureau/Salle de travail	1	2	CE	Chaise à côté du lit
spot_mp015	OG1	Habiter	1	10	OG1	Chaise à côté du lit
spot_mp017	OG4	Habiter	2	5	OG4	Structure arrière pour le lit
spot_mp017A	UG2	Bureau/Salle de travail	1	5	OG2	Table de nuit
spot_mp018	OG6	Habiter	1	4	OG6	Table de nuit
spot_mp018A	CE	Habiter	2	10	CE	Table de nuit
spot_mp019	CE	Habiter	4	10	OG1	Boîte en carton à côté du lit
spot_mp020	OG3	Habiter	1	3	OG3	Structure arrière pour le lit
spot_mp021	OG1	Habiter	1	5	OG1	Structure arrière pour le lit
spot_mp024	DG	Habiter	1	10	DG	Table de nuit
spot_mp028	OG3	Chambre à coucher	1	2	OG3	Table de nuit
spot_mp032	OG1	Habiter	2	6	OG1	Table de nuit
spot_mp033	DG	Habiter	2	5	DG	Table de nuit
spot_mp034	DG	Chambre à coucher	1	5	DG	Table de nuit
spot_mp034A	CE	Chambre à coucher	1	4	CE	Table de nuit

ID du spot	Étage Mesure de courte durée	Utilisation de l'espace Mesure à court terme	Nombre d'étages mesure mobile	Nombre de chambres mesure mobile	Étage Mesure à long terme	Position de l'instrument de mesure Mesure à long terme
spot_mp037	OG1	Habiter	2	10	OG1	Table de nuit
spot_mp040	OG4	Habiter	1	5	OG4	Chaise à côté du lit
spot_mp041	OG1	Habiter	1	7	CE	Table de nuit
spot_mp042	CE	autre	4	10	OG2	Boîte en carton à côté du lit
spot_mp043	DG	Habiter	1	9	DG	Boîte en carton à côté du lit
spot_mp044	OG2	Habiter	2	7	OG2	Table de nuit
spot_mp046	OG1	Habiter	2	8	OG2	Table de nuit
spot_mp047	UG2	Habiter	2	6	OG3	Table de nuit
spot_mp047A	CE	Chambre à coucher	1	3	CE	autre
spot_mp050	CE	Habiter	1	4	CE	Table de nuit
spot_mp052	DG	Habiter	1	9	DG	Table de nuit
spot_mp052A	OG1	Habiter	1	8	OG1	autre
spot_mp054	OG1	Habiter	2	10	CE	Table de nuit
spot_mp055	CE	Habiter	3	6	DG	Table de nuit
spot_mp057	CE	Habiter	2	10	CE	Table de nuit
spot_mp061	CE	Habiter	1	4	CE	Table de nuit
spot_mp064	OG1	Habiter	2	10	CE	Table de nuit
spot_mp069	OG1	Bureau/Salle de travail	2	10	OG1	Table de nuit
spot_mp075	CE	Habiter	1	10	CE	Table de nuit
spot_mp078	OG2	inconnu	1	5	OG2	autre
spot_mp078A	CE	inconnu	1	8	CE	autre
spot_mp089	CE	Habiter	3	10	OG1	Table de nuit
spot_mp090	OG1	Habiter	3	10	OG2	Table de nuit
spot_mp091	OG2	autre	2	10	DG	Table de nuit
spot_mp092	DG	Habiter	1	5	CE	Table de nuit
spot_mp094	CE	Habiter	3	10	OG1	Table de nuit
spot_mp096	CE	Habiter	1	8	CE	Table de nuit