



Rapport de mesures « Drive-test » dans Bruxelles octobre 2024

09 juillet 2025

Christopher GEREKOS, Luca PETRILLO

Bruxelles Environnement

SOMMAIRE

1.	Méthodologie	3
2.	Traitement des données – Services Cellulaires.....	5
3.	Modélisation statistique – Services Cellulaires	6
4.	Sites Broadcast.....	9
5.	Comparaison avec simulations	10
6.	Conclusions	13



1. METHODOLOGIE

Le Drive Test est un relevé de mesures du champ électromagnétique (EM) effectué par Bruxelles-Environnement chaque année sur un parcours déterminé. En 2024 ses objectifs étaient les suivants :

- Surveiller l'évolution de l'exposition électromagnétique sur un parcours fixe;
- Évaluer la correspondance entre les simulations et les mesures;
- Effectuer plus de mesures sur les bandes allouées à la téléphonie récemment (700 MHz, 1400 MHz et 3600 MHz).

Les mesures ont été conduites à l'aide d'un analyseur de spectre NARDA SRM 3006 de la Division Inspectorat et Sols Pollués, une antenne isotrope calibrée triaxiale avec câble de 1.5 m (3501/03 NARDA) et un récepteur GNSS (GM-3, Transystem Inc.).

Le drive-test de 2024 s'est fait à vélo, comme celui de 2023, ce qui permettra une comparaison plus fidèle des données de deux années. En effet, sur le rapport de l'année précédente, la comparaison entre les données de 2023 (réalisées à vélo) et 2021 (réalisées en voiture) avaient mis en lumière le rôle que joue la carrosserie d'une voiture dans l'environnement immédiat de l'antenne réceptrice.

Comme durant la campagne de 2023, l'antenne a été fixée à une remorque de vélo en position verticale à environ 1.2 m au-dessus du sol. L'analyseur de spectre a été programmé pour balayer le spectre avec une résolution de bande passante (RBW) de 1 MHz toutes les 300 ms, ce qui permet, à 30 km/h, de réaliser une mesure spectrale tous les 2.5 m environ. Chaque mesure représente le champ mesuré par l'antenne dans trois axes orthogonaux, afin de mesurer le champ électrique total.

La précision de la mesure du champ électrique par l'analyseur de spectre avec l'antenne isotrope triaxiale est caractérisée par l'Expanded Measurement Uncertainty (EMU), soit le double de l'erreur type de l'instrument de mesure, en tenant compte de l'antenne et du câble. Pour rappel, la conversion d'EMU en dB et pourcentage, se fait de la manière suivante :

$$EMU\% = 100 \left(10^{\frac{EMU}{20}} - 1 \right)$$

Measurement uncertainty			
Expanded measurement uncertainty ^a (in conjunction with SRM basic unit and 1.5 m RF cable)	Frequency range	Single-axis measurement with isotropic antenna	Isotropic measurement
	200 – 299 MHz	+2.0 / -2.6 dB	+2.9 / -4.3 dB
	300 – 750 MHz	+2.0 / -2.6 dB	+2.5 / -3.5 dB
	> 750 – 1400 MHz	+1.9 / -2.4 dB	+2.0 / -2.6 dB
	> 1400 – 1800 MHz	+2.0 / -2.6 dB	+2.1 / -2.9 dB
	> 1800 – 2000 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+1.9 / -2.5 dB
	> 2000 – 3000 MHz	+1.7 / -2.2 dB	+2.0 / -2.6 dB
	> 3000 – 4500 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+2.1 / -2.9 dB
	> 4500 – 5000 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+2.4 / -3.3 dB
	> 5000 – 6000 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+3.2 / -5.1 dB

Tableau 1. Expanded measurement uncertainty pour le setup de mesure.

Un deuxième paramètre qui affecte les mesures est l'intervalle d'amplitude, qui est plus limité (10 dB) pour le NARDA. Concrètement, un compromis a dû être trouvé entre les valeurs



extrêmes mesurables. La valeur maximale mesurable a été fixée à 5 V/m afin de ne pas saturer l'amplificateur en entrée de l'instrument lors des mesures.

Le parcours du drive-test dans la région bruxelloise est présenté en Fig. 1. Le spectre entre 725 MHz et 3825 MHz a été mesuré le long du parcours en deux jours ouvrables entre 9h et 16h, dans des conditions normales de trafic routier. Durant le trajet, aucun tunnel n'a été emprunté.

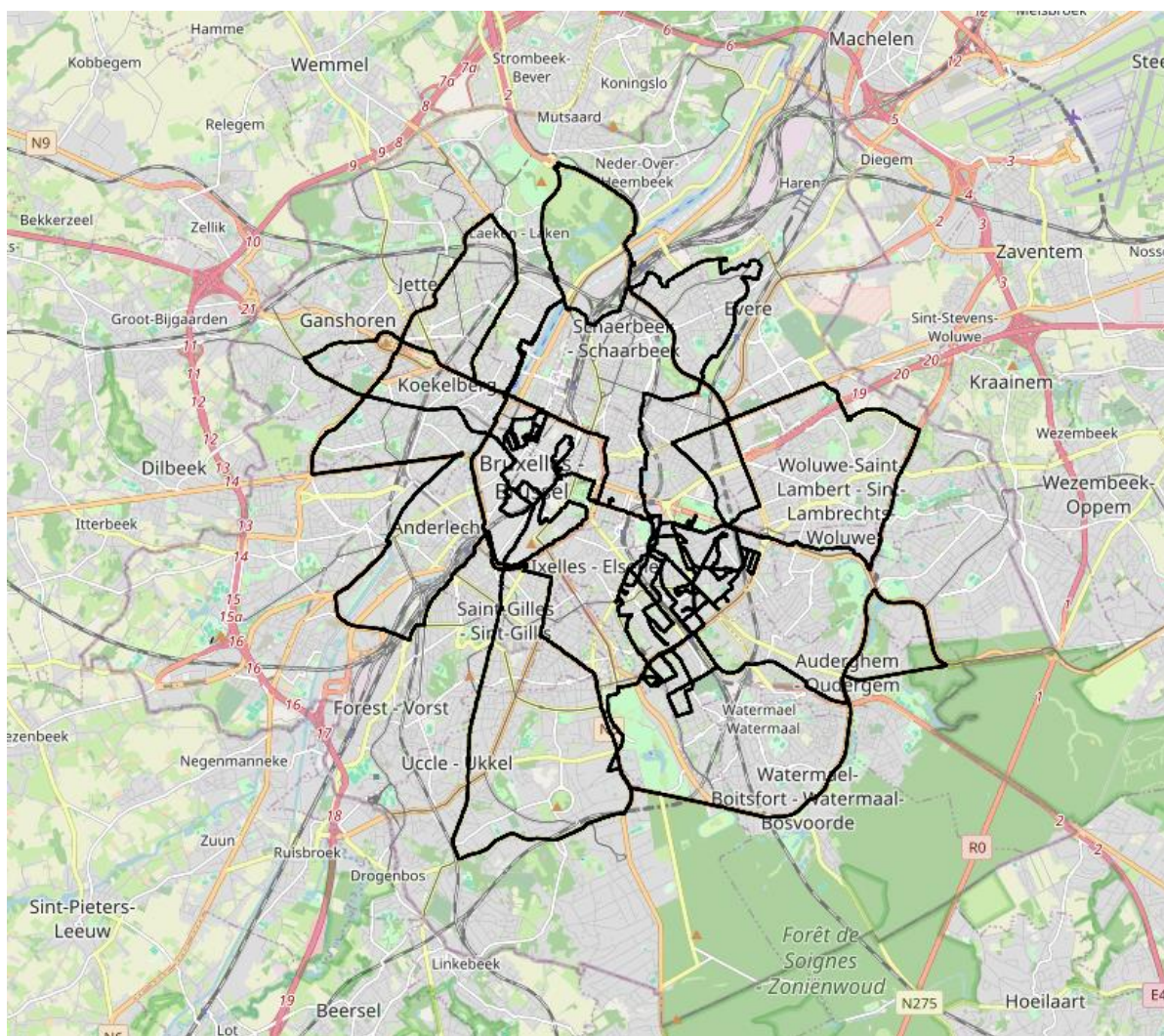


Fig. 1. Parcours réalisé pour le drive-test 2024.

2. TRAITEMENT DES DONNEES – SERVICES CELLULAIRES

Le set de données utilisé pour conduire cette étude consiste en 64347 réalisations du spectre du champ électrique mesuré entre 750 MHz et 3800 MHz, distribuées le long du parcours de la Fig. 1.

La mesure du champ électrique permet le calcul du champ électrique équivalent 900 MHz défini par AGRBC du 8 octobre 2009 fixant la méthode et les conditions de mesure du champ électromagnétique émis par certaines antennes :

$$E_{eq900}^{ext} = \sqrt{\sum_{100\text{ kHz}}^{400\text{ MHz}} \left(\frac{14.57}{9.7} \times E_f\right)^2 + \sum_{400\text{ MHz}}^{2\text{GHz}} \left(\frac{14.57}{E_{ref,f}^{ext}} \times E_f\right)^2 + \sum_{2\text{GHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{14.57}{21.73} \times E_f\right)^2} \quad [\text{V/m}]$$

avec

$$E_{ref,f}^{ext} = 0.4857 \times \sqrt{f}, \text{ où } f \text{ est exprimée en MHz ;}$$

Le champ électrique « équivalent 900 MHz » a été calculé en chaque point pour chaque bande utilisée par les services cellulaires (700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1400 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz et 3600 MHz) en downlink. Trois nouvelles bandes ont été ajoutées car elles ont été octroyées aux opérateurs de téléphonie mobile en 2022 suite aux enchères de l'IBPT. Le récapitulatif des bandes de fréquences se trouve dans le Tableau 2.

Bande 700 MHz	758 MHz – 788 MHz
Bande 800 MHz	791 MHz – 821 MHz
Bande 900 MHz	925,1 MHz – 959.9 MHz
Bande 1400 MHz	1427 MHz – 1517 MHz
Bande 1800 MHz	1805 MHz – 1880 MHz
Bande 2100 MHz	2110,3 – 2140,1 MHz et 2154,9 – 2169,7 MHz
Bande 2600 MHz	2620 – 2640 MHz et 2655 – 2690 MHz
Bande 3600 MHz	3400 MHz – 3800 MHz

Tableau 2. Services et bandes occupées.

3. MODELISATION STATISTIQUE – SERVICES CELLULAIRES

La démarche de modélisation statistique est identique à celle utilisée pour les quatre drive-test précédents. L'analyse a été menée pour le set complet de donnée d'une part, et en ne considérant que les mesures au centre de Bruxelles (intérieur de la petite ceinture) d'autre part.

Pour chaque service, les grandeurs suivantes ont été calculées pour représenter la dispersion des données :

- médiane, premier et troisième quartiles, maximum (les premier et troisième quartiles sont les données qui séparent les 25 % inférieurs et le 75 % supérieurs des données respectivement);
- moyenne et écart type;
- les probabilités de dépassement de seuils 1 V/m, 3.45 V/m et 6 V/m.

Les seuils pour le calcul des probabilités de dépassements ont été gardées inchangées par rapport aux années précédentes, afin de mieux comparer les résultats. En outre, les résultats de mesure 2023 ne présentent pas de valeurs plus élevées que 6 V/m, ce qui justifie également le choix des seuils.

Le Tableau 3 résume les grandeurs statistiques extraites des données, ainsi que pour le seul centre de Bruxelles à l'intérieur de « la petite ceinture ».

		B700		B800		B900		B1400		B1800		B2100		B2600		B3600		Full downlink	
		Centre	Global	Centre	Global	Centre	Global	Centre	Global	Centre	Global	Centre	Global	Centre	Global	Centre	Global	Centre	Global
Moyenne	2024	0.17	0.12	0.53	0.39	0.43	0.35	0.03	0.03	0.32	0.22	0.22	0.13	0.27	0.16	0.12	0.12	0.91	0.67
	2023	0.04	0.03	0.52	0.41	0.48	0.36	#N/A	#N/A	0.28	0.2	0.19	0.11	0.26	0.14	#N/A	#N/A	0.88	0.64
Ecart type	2024	0.19	0.13	0.39	0.33	0.29	0.28	0.02	0.01	0.25	0.21	0.19	0.14	0.21	0.18	0.06	0.07	0.58	0.5
	2023	0.04	0.02	0.43	0.4	0.37	0.33	#N/A	#N/A	0.25	0.21	0.18	0.13	0.26	0.19	#N/A	#N/A	0.64	0.54
1er quartile	2024	0.07	0.06	0.26	0.16	0.22	0.14	0.03	0.03	0.16	0.08	0.09	0.04	0.12	0.04	0.11	0.1	0.48	0.29
	2023	0.03	0.03	0.23	0.15	0.2	0.13	#N/A	#N/A	0.13	0.07	0.08	0.03	0.11	0.03	#N/A	#N/A	0.42	0.25
Mediane	2024	0.1	0.07	0.43	0.28	0.36	0.26	0.03	0.03	0.26	0.16	0.16	0.09	0.22	0.1	0.11	0.11	0.77	0.52
	2023	0.03	0.03	0.39	0.27	0.37	0.25	#N/A	#N/A	0.21	0.13	0.13	0.07	0.19	0.08	#N/A	#N/A	0.7	0.46
3ème quartile	2024	0.19	0.12	0.71	0.51	0.57	0.48	0.03	0.03	0.4	0.29	0.27	0.17	0.36	0.21	0.11	0.11	1.2	0.92
	2023	0.03	0.03	0.69	0.51	0.66	0.47	#N/A	#N/A	0.34	0.26	0.24	0.15	0.32	0.19	#N/A	#N/A	1.18	0.86
Maximum	2024	2.36	2.4	3.86	4.19	2.86	3.04	0.69	0.69	2.79	2.79	2.36	3.04	2.1	2.91	1.87	3.41	5.43	5.43
	2023	0.64	0.64	4.56	4.56	3.93	4.21	#N/A	#N/A	3.35	3.35	3.9	3.9	3.33	3.33	#N/A	#N/A	5.93	5.93
Probabilité Dépassement 1 V/m [%]	2024	1.23	0.34	10.49	5.06	5.26	3.44	#N/A	#N/A	2.21	1.01	0.97	0.31	1.49	0.63	#N/A	#N/A	35.55	20.99
	2023	0	0	12.07	7.93	7.75	5.42	#N/A	#N/A	2.8	1.06	0.57	0.16	2.67	0.84	#N/A	#N/A	33.53	19.43
Probabilité Dépassement 3.45 V/m [%]	2024	0	0	0.02	0.02	0	0	#N/A	#N/A	0	0	0	0	0	0	#N/A	#N/A	0.32	0.12
	2023	0	0	0.05	0.03	0.01	0.01	#N/A	#N/A	0	0	0.01	0	0	0	#N/A	#N/A	0.55	0.21
Probabilité Dépassement 6 V/m [%]	2024	0	0	0	0	0	0	#N/A	#N/A	0	0	0	0	0	0	#N/A	#N/A	0	0
	2023	0	0	0	0	0	0	#N/A	#N/A	0	0	0	0	0	0	#N/A	#N/A	0	0

Tableau 3. Récapitulatif des grandeurs statistiques pour les services cellulaires. Les grandeurs statistiques présentées sont dérivées de l'ensemble de tous les points mesurés.

La distribution des données peut être visualisée par des boîtes à moustache en Fig. 3. Pour mieux observer les graphiques, une transformation logarithmique est appliquée à l'échelle. Les données suivent les mêmes distributions log-normale (normales en échelle logarithmique) que les années précédentes. La partie rectangulaire représente la plage interquartile, et la barre horizontale la médiane des données. Les lignes représentent le maximum et le minimum des données considérées en tant que distribution, et les points représentent des *outliers*.



Il est aussi intéressant de représenter sur la carte les points où le champ électrique « équivalent 900 MHz » dépasse certains seuils. Le résultat est présenté en Fig. 4.

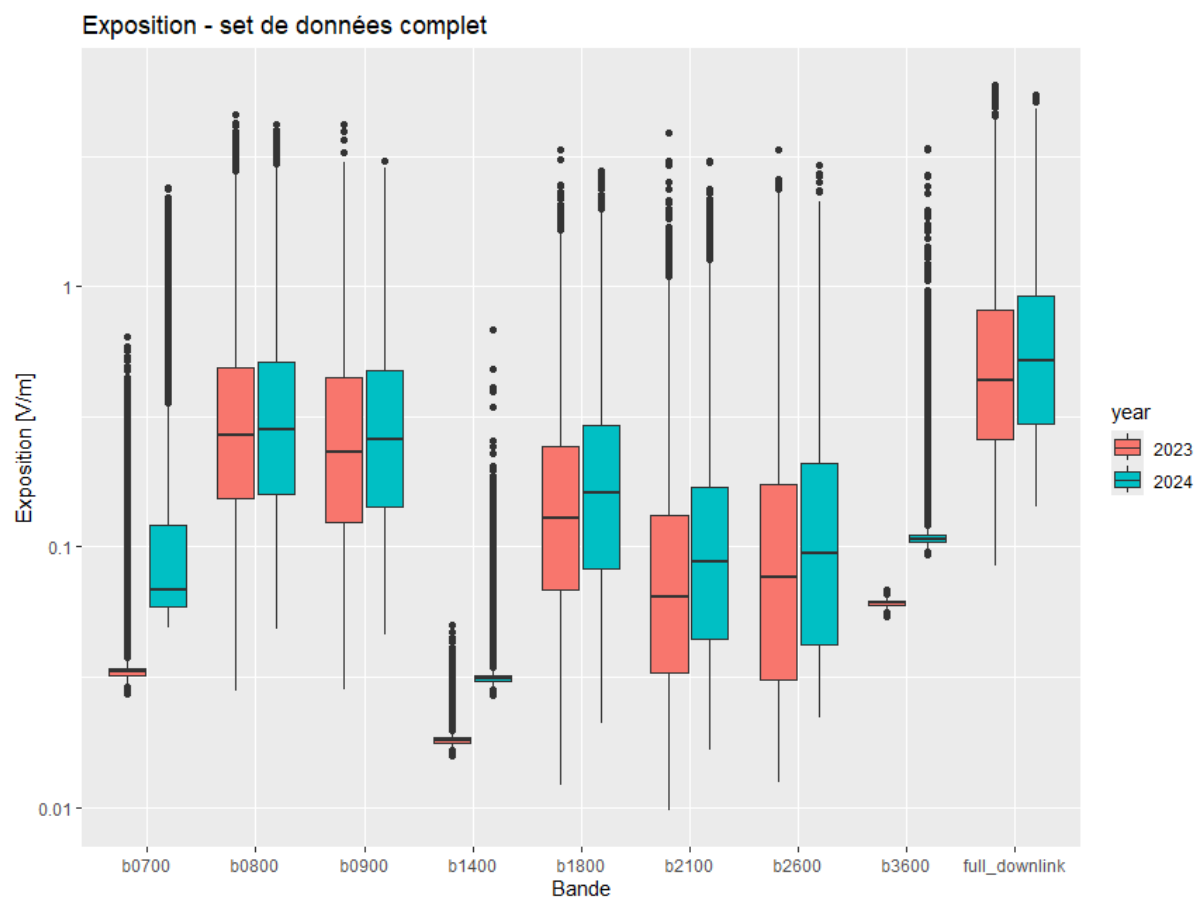


Fig. 3a. Graphique de type boîte à moustache pour les services cellulaire (set de données complet).

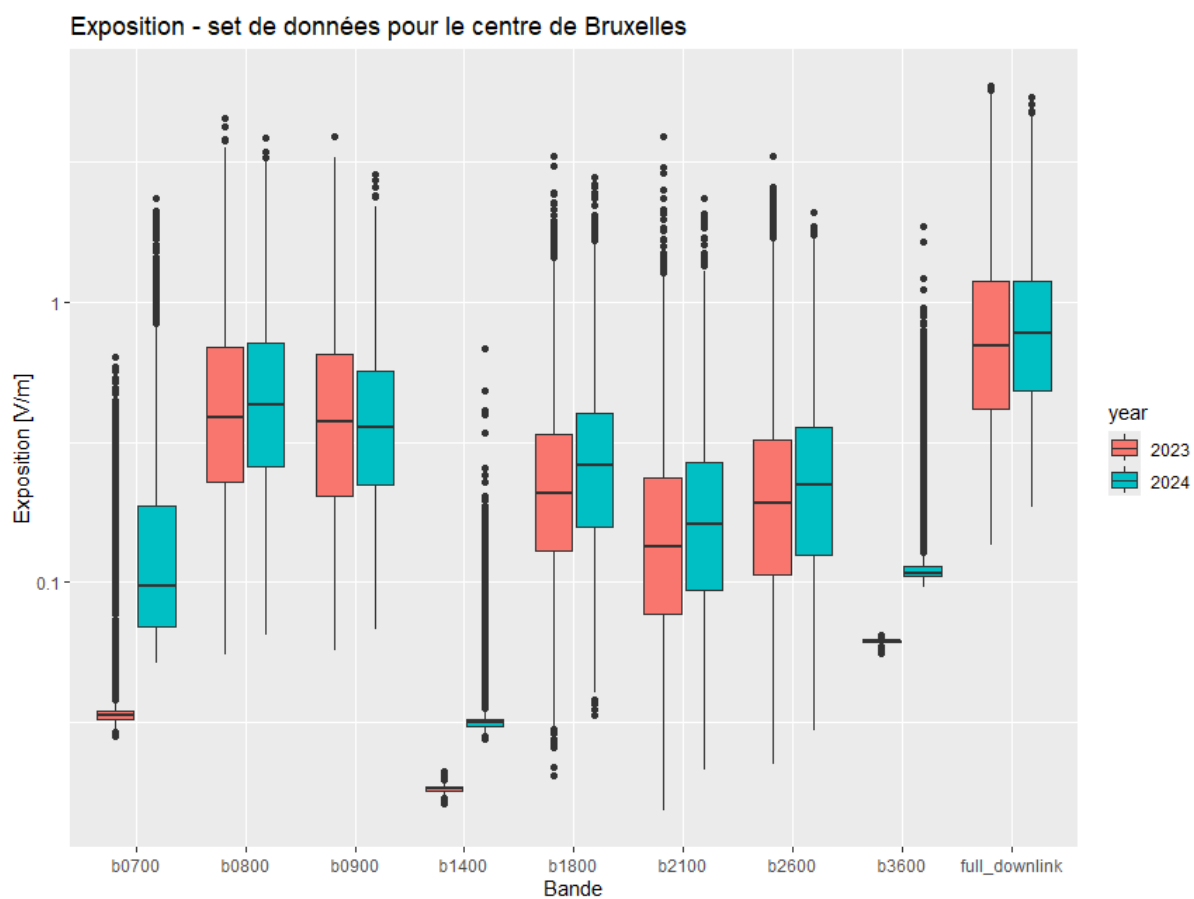


Fig. 3b. Graphique de type boîte à moustache pour les services cellulaires (set de données pour le centre de Bruxelles).

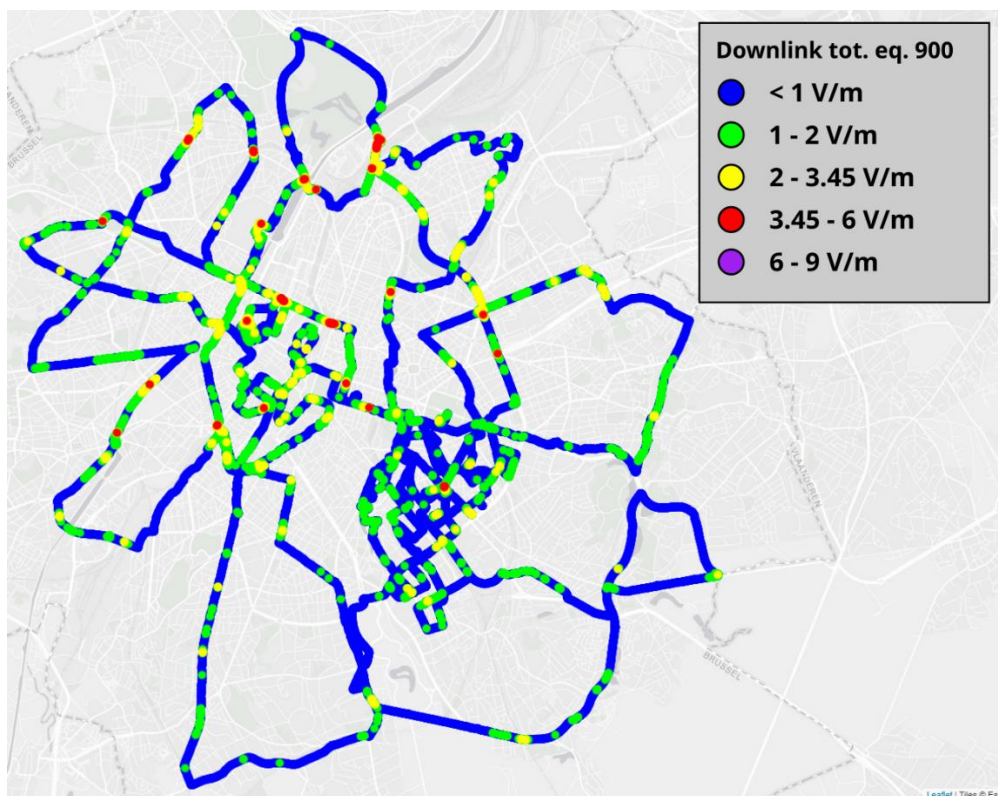


Fig. 4. Représentation du champ électrique équivalent 900 MHz.

4. SITES BROADCAST

De manière plus limitée, des mesures ont été effectuées à proximité des sites broadcast dans les bandes concernées (FM, DAB, DVB). Ces relevés sont trop peu nombreux pour les soumettre à une analyse statistique, mais ils permettent de s'assurer que la norme n'est pas dépassée. Les cartes du rayonnement mesuré sont affichées sur les Figures 5 et 6 ci-dessous.

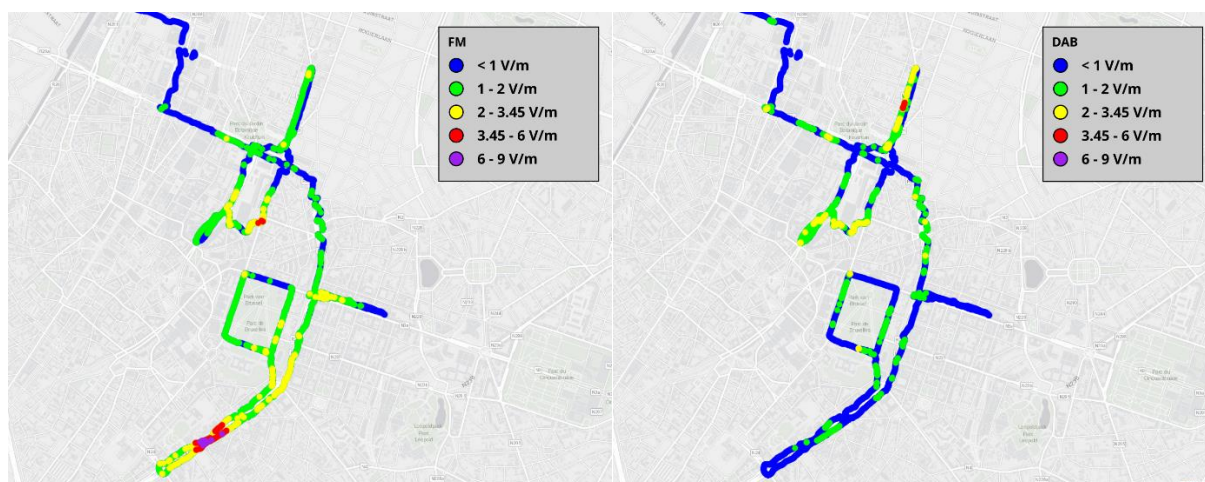


Fig. 5. Représentation du champ électrique dans les bandes FM et DAB.

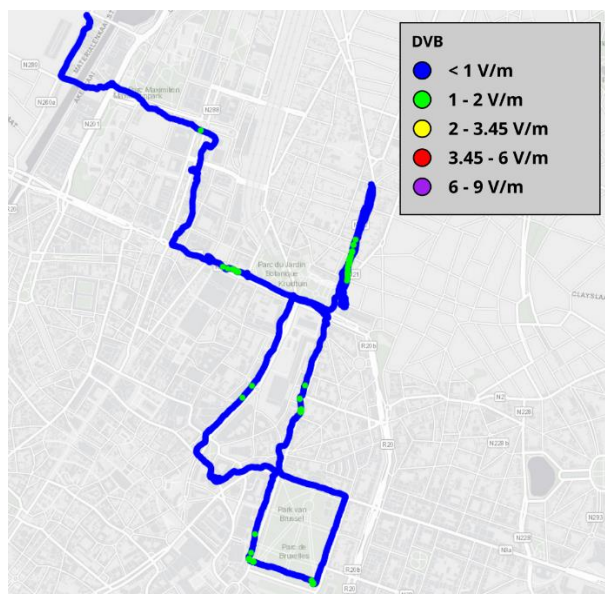


Fig. 6. Représentation du champ électrique dans la bande DVB.

Les mesures confirment que la norme est respectée autour des sites mesurés. Les champs les plus intenses ont été mesurés dans la bande FM à proximité de l'immeuble « The Hotel », sur lequel se trouvent plusieurs antennes broadcast mais ne dépasse en aucun cas 9 V/m au sol.

5. COMPARAISON AVEC SIMULATIONS

Les données du drive-test peuvent aussi servir à valider les hypothèses de simulation qui sont utilisées pour la délivrance de permis. Chaque année, le département réalise une simulation globale du rayonnement électromagnétique sur l'ensemble du territoire bruxellois qui complète les simulations locales effectuées aux abords immédiats de chaque site pour lequel un nouveau permis est demandé.

Dans cette section, nous proposons de comparer les mesures obtenues lors du drive-test avec le champ prédit par la carte globale des émissions simulées au sol.

5.1. Méthodologie

Afin de comparer deux grandeurs comparables, un certain nombre d'opérations sont appliquées à la fois aux données mesurées et aux points simulés. De façon générale, le but est de définir des cellules dans lesquelles les points mesurés et les points simulés seront moyennés, de telle sorte que l'on puisse comparer ces cellules une-à-une.

La première étape du prétraitement des données du drive-test est le remplacement des points au milieu de la route. Cette étape permet de pallier au fait que les relevés GPS peuvent présenter une incertitude qui peut être assez importante (voir Figure 7).

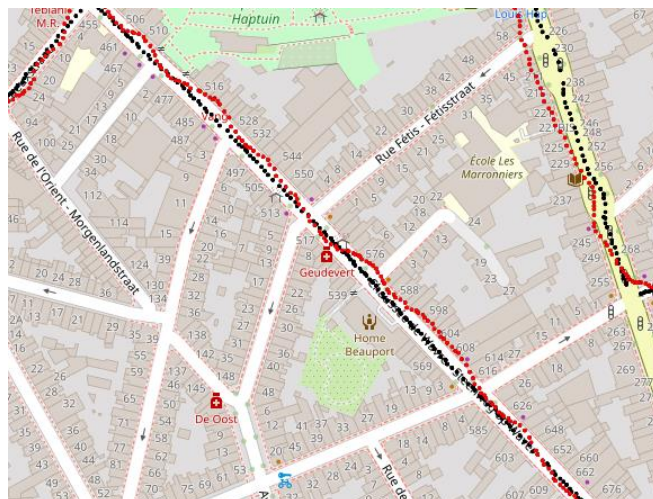


Fig. 7. Un sous-ensemble des points mesurés lors du drive-test, avant et après correction de la position, en rouge et noir, respectivement.

À partir des positions corrigées, des cellules sont définies afin de pouvoir procéder à l'opération de moyennage. Un couloir d'une largeur fixe de 10 m est définie au moyen d'un buffer autour de la trajectoire définie par les points. Les points ont ensuite été ré-échantillonnés avec un interval de 30 m, et un découpage de Voronoi a été appliqué sur ces points. (Ces valeurs de paramètres ont été choisies empiriquement afin de convenir à la majorité des situations.) Les cellules de Voronoi résultantes sont découpée dans le sens de la largeur au moyen du buffer afin de ne pas dépasser la largeur de la route. Les cellules résultantes représentent une région spatiale de taille appropriée et seront utilisées pour calculer les moyennes des champs voulus. (Voir Figure 8).



Fig. 8. Les cellules obtenues pour la trajectoire affichée à la Figure 7.

Au sein de chaque cellule, les points du drive-test et les points simulés de la carte globale sont moyennés séparément. Chaque cellule devient donc un point dans l'espace « champ mesuré » vs. « champ simulé ».

5.2. Résultats

Le graphe des points de l'espace champ mesuré vs. champ simulé est représenté sur la Figure 9. La bissectrice est indiquée en rouge et représente le cas où le champ simulé serait identique au champ mesuré.

Plusieurs remarques sont à faire au sujet de ce graphique. La quasi-totalité des mesures et des simulations indiquent un champ inférieur à quelques volts par mètres, c'est-à-dire bien en deçà de la norme. Ensuite, le nuage de point affiche un poids significativement plus élevé en dessous de la bissectrice qu'au-dessus, a fortiori lorsque les champs sont plus intenses, ce qui rassure sur la qualité « maximisante » des simulations.

Les sources d'erreurs de cette procédure sont, d'une part, un certain caractère stochastique des mesures, et d'autre part, l'étape de correction de la position des points, qui en de rares cas peut résulter en un déplacement important. Les « outliers » de la Figure 7 correspondent à de tels points.

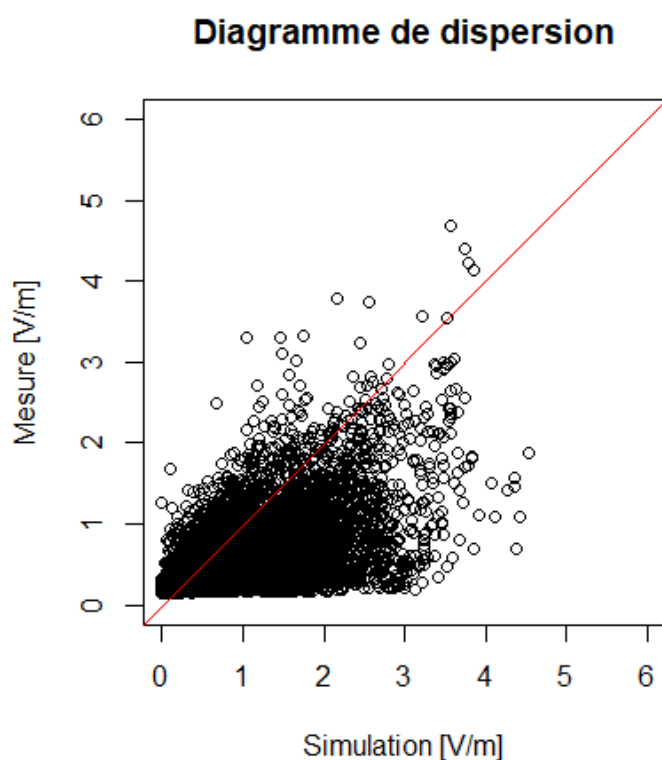
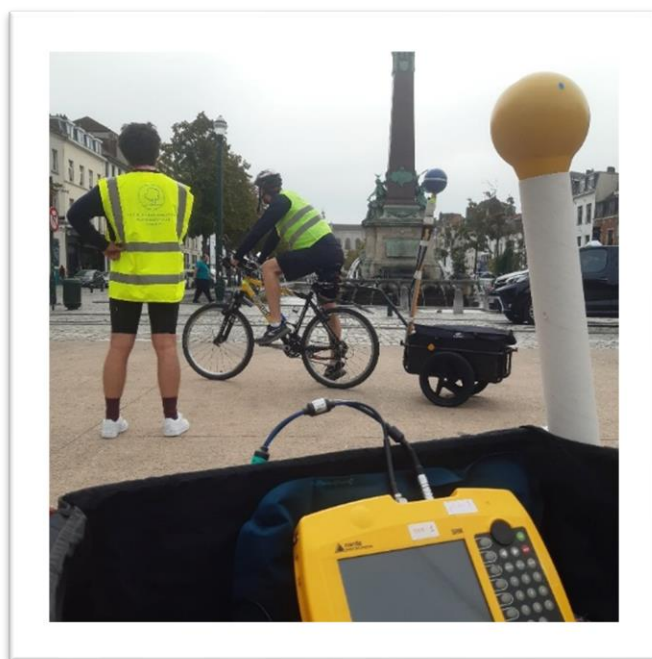


Fig. 9. Comparaison entre champ mesuré et champ simulé pour chaque cellule considérée.

6. CONCLUSIONS

Un drive-test a été conduit dans la région bruxelloise afin de mesurer le champ électrique dû aux services cellulaires downlink. Il s'agit de la deuxième année consécutive où les mesures ont été faites à vélo, ce qui permet une comparaison plus fidèle aux mesures de l'an dernier.

- Les détections de signal dans les bandes 700 MHz, 1400 MHz et 3600 MHz, qui correspondent aux standards NR restent très peu nombreuses, mais en forte augmentation par rapport aux mesures de 2023. Les intensités mesurées dans ces bandes sont elles aussi en augmentation. Ces observations reflètent le développement du réseau 5G à Bruxelles, bien que son utilisation demeure marginale.
- Les résultats montrent une très légère augmentation des valeurs mesurées par rapport à 2023 dans toutes les autres bandes, qui correspondent à la densification du réseau legacy, encore très utilisé.
- L'exposition aux champs électromagnétiques reste inférieure à 9 V/m sur tout le parcours de mesure.
- Les mesures confirment le caractère maximisant des simulations et que les hypothèses de simulations sont adaptées pour la délivrance de permis.



02 775 75 75
WWW.ENVIRONNEMENT.BRUSSELS

Rédaction : Dr. Christopher Gerekos, Dr. Luca Petrillo
Ed. Resp. : B. Dewulf, B. Willocx – Av du Port 86C/3000- 1000 Bruxelles

