



Meetverslag "Drive-test" in Brussel Oktober 2024

9 juli 2025

Christopher GEREKOS, Luca PETRILLO

Leefmilieu Brussel

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE.....	2
1. Methodologie.....	3
2. Gegevensverwerking - Cellulaire diensten	5
3. Statistische modellering - Cellulaire diensten.....	6
4. Broadcastsites	9
5. Vergelijking met simulaties	10
6. Conclusies	13



1. METHODOLOGIE

De Drive Test is een meting van het elektromagnetische veld (EM) die elk jaar door Leefmilieu Brussel wordt uitgevoerd over een bepaald traject. In 2024 waren de doelstellingen als volgt:

- De evolutie van de elektromagnetische blootstelling langs een vast traject monitoren;
- Nagaan of de simulaties en metingen overeenstemmen;
- Meer metingen doen op de frequentiebanden die onlangs voor telefonie zijn toegewezen (700 MHz, 1400 MHz en 3600 MHz).

De metingen werden uitgevoerd met behulp van een NARDA SRM 3006 spectrumanalysator van de Afdeling Inspectie en Verontreinigde Bodems, een gekalibreerde tri-axiale isotrope antenne met een kabel van 1,5 m (3501/03 NARDA) en een GNSS-ontvanger (GM-3, Transystem Inc.).

De Drive Test van 2024 werd net als die van 2023 met de fiets uitgevoerd, waardoor de gegevens van beide jaren beter met elkaar kunnen worden vergeleken. In het verslag van vorig jaar bleek uit een vergelijking tussen de gegevens van 2023 (opgemaakt met de fiets) en 2021 (opgemaakt met de auto) namelijk dat de carrosserie van een auto een belangrijke rol speelt in de directe omgeving van de ontvangstantenne.

Net als tijdens de campagne van 2023 werd de antenne op een fietskar bevestigd in een verticale positie op ongeveer 1,2 m boven de grond. De spectrumanalysator is geprogrammeerd om het spectrum te scannen met een bandbreedteresolutie (RBW) van 1 MHz om de 300 ms, waardoor bij 30 km/u om de ongeveer 2,5 m een spectrale meting kan worden uitgevoerd. Elke meting vertegenwoordigt het veld gemeten door de antenne in drie orthogonale assen, om het totale elektrische veld te meten.

De nauwkeurigheid van de meting van het elektrische veld door de spectrumanalysator met de tri-axiale isotrope antenne wordt gekenmerkt door de Expanded Measurement Uncertainty (EMU), d.w.z. het dubbele van de standaardfout van het meetinstrument, rekening houdend met de antenne en de kabel. Ter herinnering: de EMU wordt als volgt omgezet in dB en percentage:

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

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 voor het instellen van de meting.

Een tweede parameter die de metingen beïnvloedt is het amplitude-interval, dat beperkter is (10 dB) voor NARDA. Concreet moest een compromis worden gevonden tussen de meetbare



uitersten. De maximaal meetbare waarde werd vastgesteld op 5 V/m om te voorkomen dat de versterker aan de ingang van het instrument tijdens de metingen verzadigd raakt.

Het traject van de Drive Test in het Brussels Gewest wordt weergegeven in Fig. 1. Het spectrum tussen 725 MHz en 3825 MHz werd gemeten langs het traject gedurende twee werkdagen tussen 9 uur en 16 uur, onder normale verkeersomstandigheden. Tijdens het traject werd geen enkele tunnel genomen.

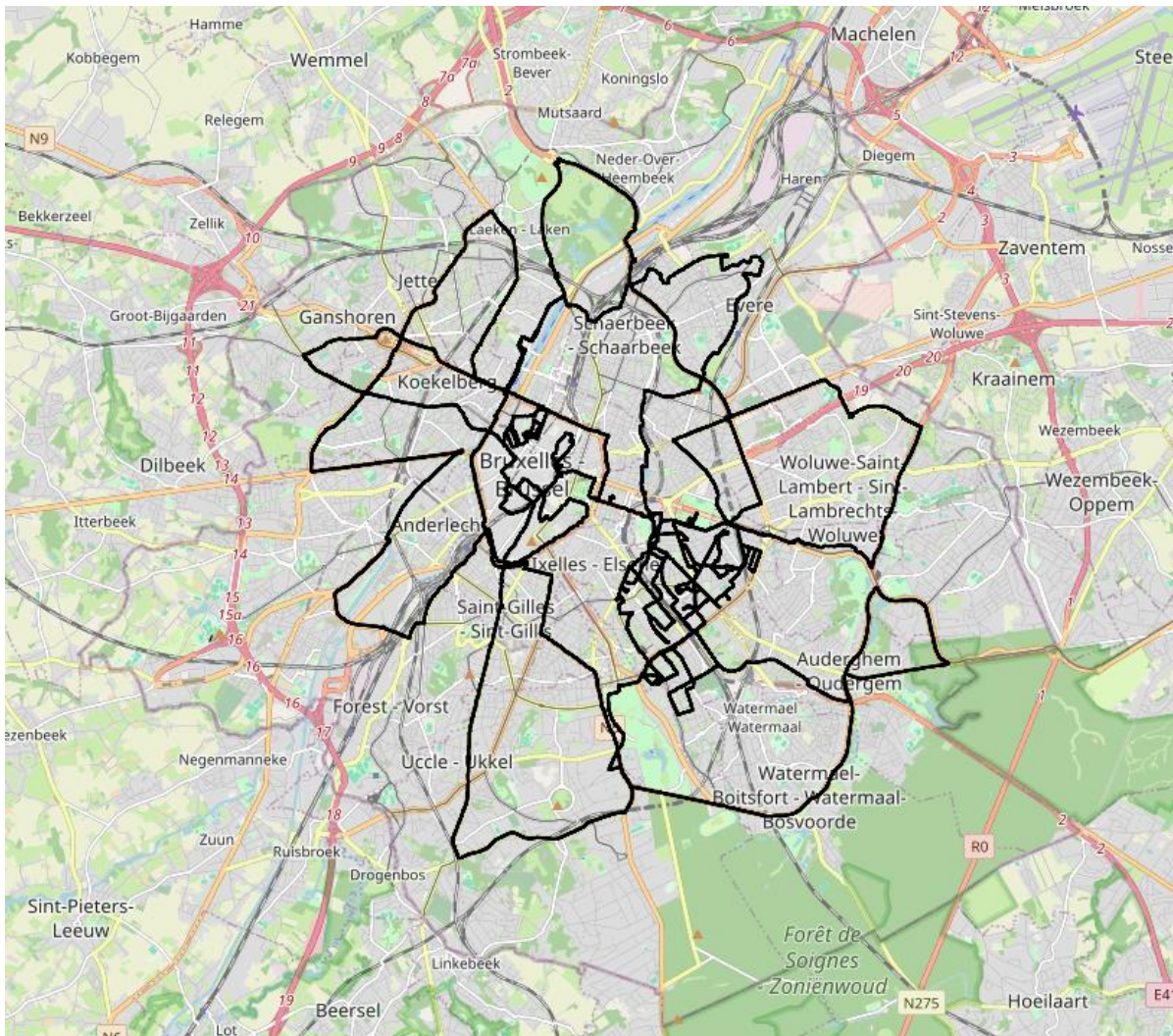


Fig. 1. Traject afgelegd voor de Drive Test 2024.

2. GEGEVENSVERWERKING - CELLULAIRE DIENSTEN

De dataset die voor deze studie is gebruikt, bestaat uit 64.347 metingen van het elektrische veldspectrum tussen 750 MHz en 3800 MHz, verdeeld over het traject in figuur 1.

Door het elektrische veld te meten, kan het equivalente elektrische veld van 900 MHz worden berekend, zoals gedefinieerd bij BBHR van 8 oktober 2009 tot vaststelling van de methode en de omstandigheden voor de meting van het elektromagnetische veld dat door bepaalde zendmasten uitgezonden wordt:

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

met

$$E_{ref,f}^{ext} = 0.4857 \times \sqrt{f} \text{ waarbij } f \text{ wordt uitgedrukt in MHz;}$$

Het elektrische veld “equivalent aan 900 MHz” werd berekend op elk punt voor elke frequentieband die door mobiele diensten wordt gebruikt (700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1400 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz en 3600 MHz) in downlink. Er zijn drie nieuwe frequentiebanden toegevoegd omdat deze in 2022 na een veiling door het BIPT aan mobiele operatoren zijn toegewezen. Tabel 2 geeft een overzicht van de frequentiebanden.

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

Tabel 2. Diensten en gebruikte bandbreedte.



3. STATISTISCHE MODELLERING - CELLULAIRE DIENSTEN

De statistische modelleringsmethode is identiek aan die welke voor de vier voorgaande Drive Tests is gebruikt. De analyse werd uitgevoerd voor de volledige dataset enerzijds, en anderzijds voor alleen de metingen in het centrum van Brussel (binnen de kleine ring).

Voor elke dienst zijn de volgende grootheden berekend om de spreiding van de gegevens weer te geven:

- mediaan, eerste en derde kwartiel, maximum (het eerste en derde kwartiel zijn de gegevens die respectievelijk de onderste 25% en de bovenste 75% van de gegevens scheiden);
- moyenne et écart type;
- waarschijnlijkheid van het overschrijden van drempels van 1 V/m, 3,45 V/m en 6 V/m.

De drempelwaarden voor het berekenen van de overschrijdingskansen zijn ongewijzigd ten opzichte van voorgaande jaren, om de resultaten gemakkelijker te kunnen vergelijken. Bovendien vertonen de meetresultaten van 2023 geen waarden hoger dan 6 V/m, wat de keuze van de drempelwaarden eveneens rechtvaardigt.

Tabel 3 geeft een overzicht van de statistische grootheden die uit de gegevens zijn gehaald, alsook alleen voor het centrum van Brussel binnen de "kleine ring".

		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
Probabilité Dépassement 3.45 V/m [%]	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 6 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
Probabilité Dépassement 6 V/m [%]	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
Probabilité Dépassement 6 V/m [%]	2023	0	0	0	0	0	0	#N/A	#N/A	0	0	0	0	0	0	#N/A	#N/A	0	0

Tabel 3. Samenvatting van statistische waarden voor cellulaire diensten. De voorgestelde statistische grootheden zijn afgeleid van alle gemeten punten.

De verdeling van de gegevens kan worden gevisualiseerd door middel van boxplots in Fig. 3. Om de grafieken beter te kunnen bekijken, wordt een logaritmische transformatie toegepast op de schaal. De gegevens volgen dezelfde log-normale verdelingen (normaal op logaritmische schaal) als in voorgaande jaren. Het rechthoekige gedeelte vertegenwoordigt het interkwartielbereik en de horizontale balk de mediaan van de gegevens. De lijnen geven het maximum en minimum weer van de gegevens die als verdeling worden beschouwd, en de punten geven *outliers* weer.

Het is ook interessant om op de kaart de punten weer te geven waar het elektrische veld “equivalent aan 900 MHz” bepaalde drempelwaarden overschrijdt. Het resultaat wordt getoond in Fig. 4.

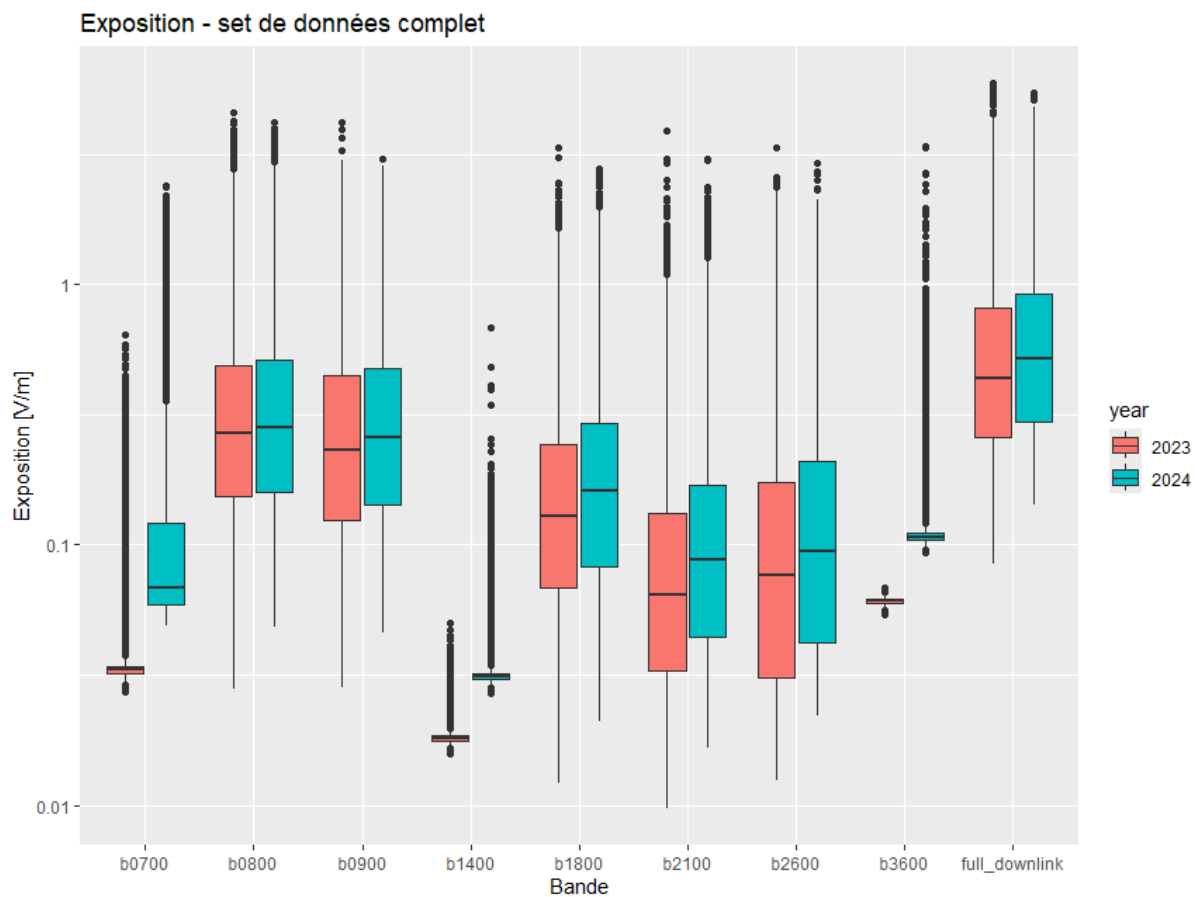


Fig. 3a. Boxplot voor cellulaire diensten (volledige dataset).

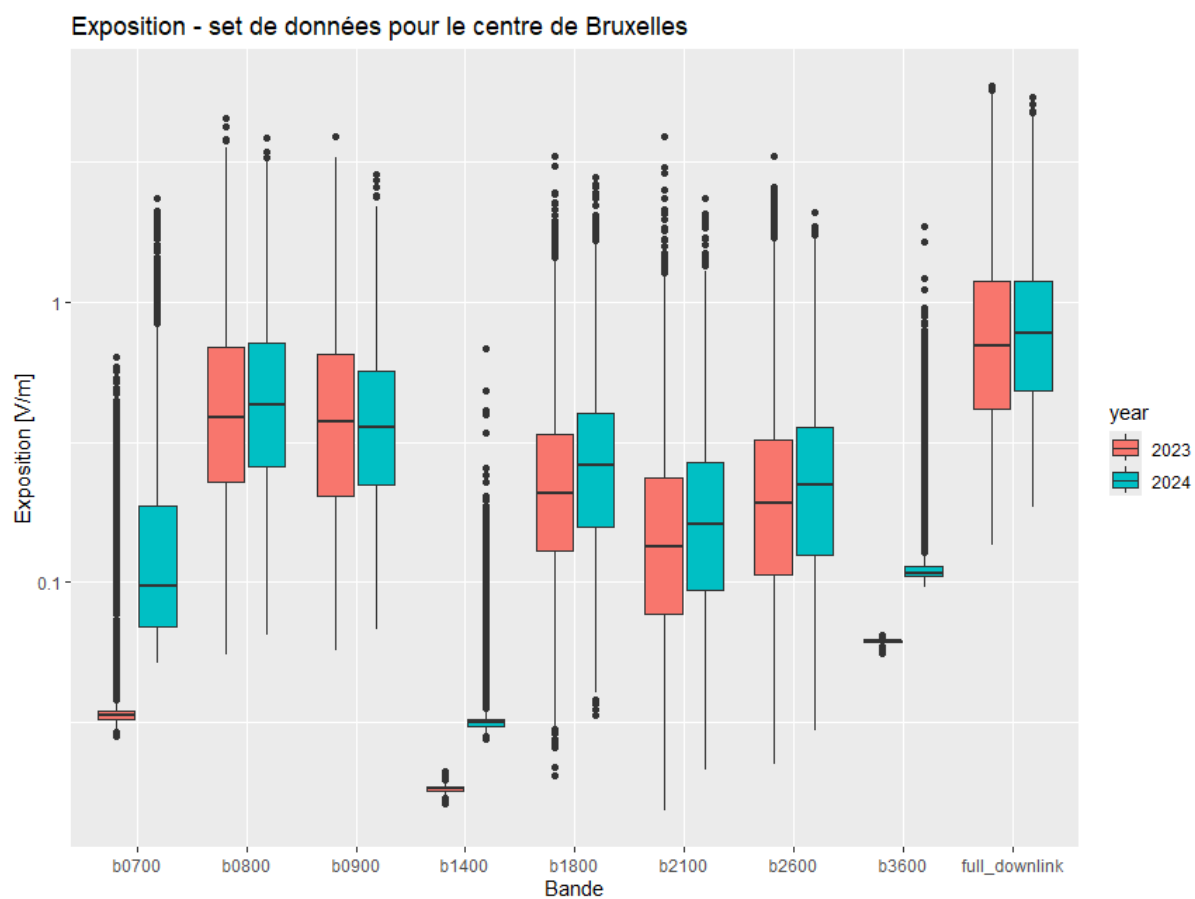


Fig. 3b. Boxplot voor cellulaire diensten (dataset voor het centrum van Brussel).

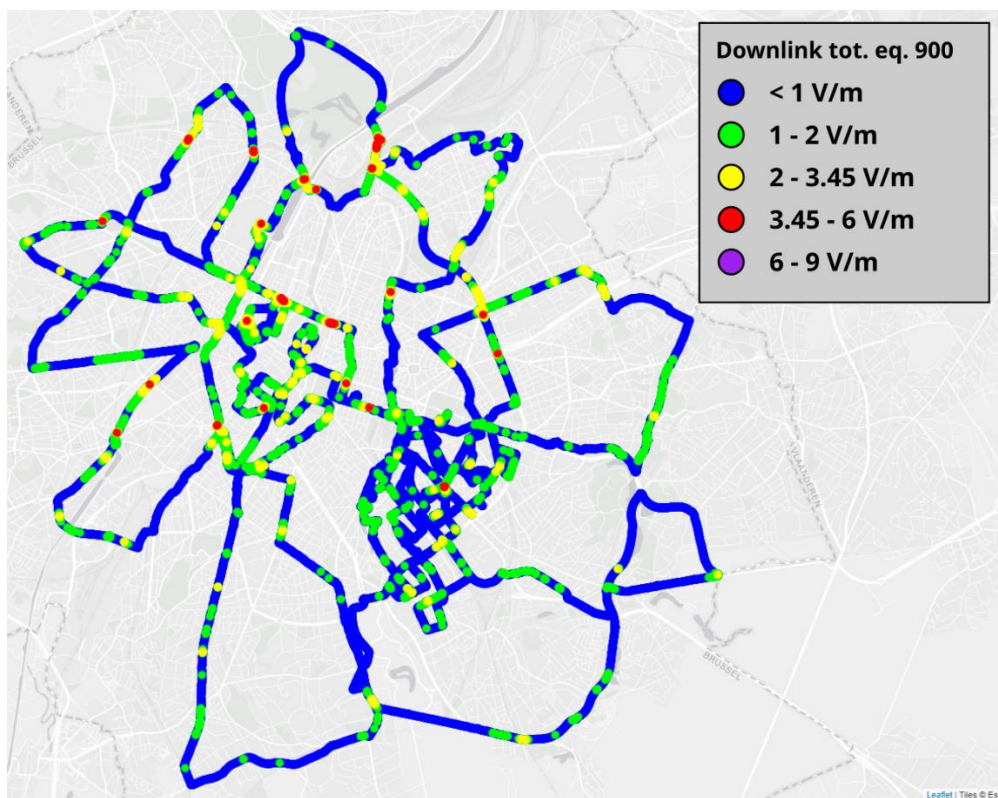


Fig. 4. Voorstelling van het elektrische veld equivalent aan 900 MHz.

4. BROADCASTSITES

In beperkte mate werden metingen uitgevoerd in de buurt van de broadcastsites in de betrokken frequentiebanden (FM, DAB, DVB). Deze gegevens zijn te beperkt om statistisch te analyseren, maar ze laten wel toe om na te gaan of de norm niet wordt overschreden. De gemeten stralingskaarten worden weergegeven in de figuren 5 en 6 hieronder.

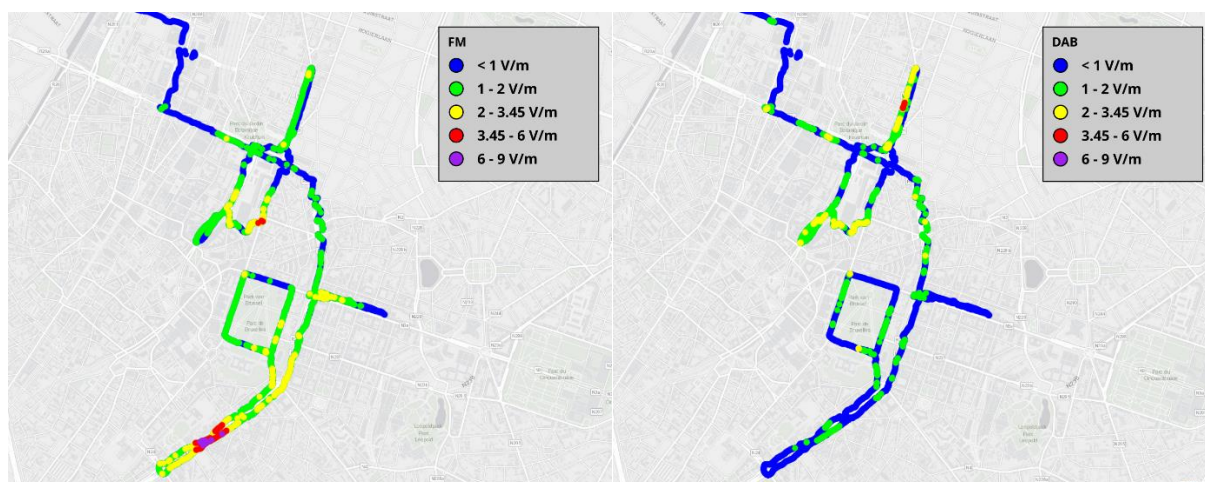


Fig. 5: Weergave van het elektrische veld in de FM- en DAB-banden.

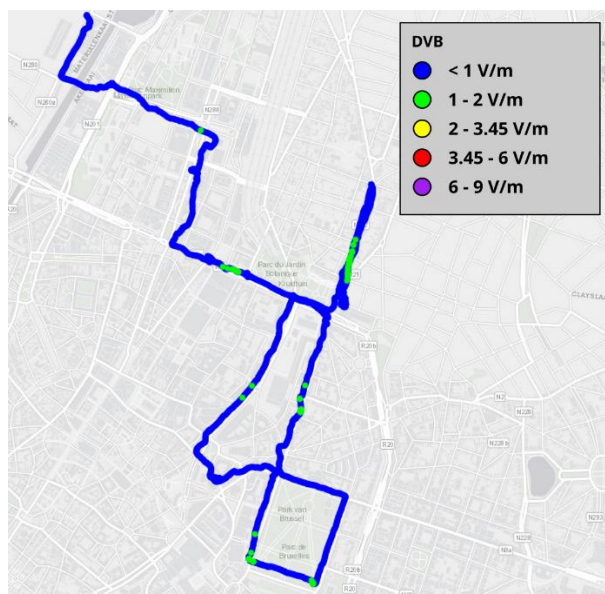


Fig. 6: Weergave van het elektrische veld in de DVB-band.

De metingen bevestigen dat de norm rond de gemeten sites wordt nageleefd. De sterkste velden werden gemeten in de FM-band in de buurt van het gebouw “The Hotel”, waarop verschillende broadcastantennes staan, maar deze overschrijden in geen geval 9 V/m op de grond.

5. VERGELIJKING MET SIMULATIES

De gegevens van de Drive Test kunnen ook worden gebruikt om de simulatiehypothese te valideren die worden gebruikt voor de afgifte van vergunningen. Elk jaar voert het departement een globale simulatie uit van de elektromagnetische straling over heel Brussel, als aanvulling op de lokale simulaties die worden uitgevoerd in de onmiddellijke omgeving van elke site waarvoor een nieuwe vergunning wordt aangevraagd.

In dit deel vergelijken we de metingen van de Drive Test met het veld dat voorspeld werd door de globale kaart van de gesimuleerde emissies op de grond.

5.1. Methodologie

Om twee vergelijkbare grootheden te vergelijken, wordt een aantal bewerkingen toegepast op zowel de gemeten gegevens als de gesimuleerde punten. In het algemeen is het doel om cellen te definiëren waarin de gemeten punten en de gesimuleerde punten worden gemiddeld, zodat deze cellen één op één met elkaar kunnen worden vergeleken.

De eerste stap in de voorbereiding van de Drive Test-gegevens is het terugplaatsen van de punten in het midden van het traject. Deze stap maakt het mogelijk om het feit te ondervangen dat GPS-metingen een vrij grote onzekerheid kunnen vertonen (zie figuur 7).

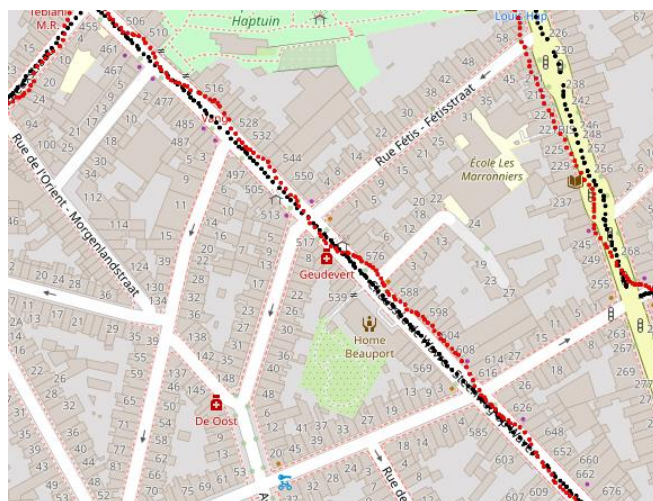


Fig. 7. Een subset van de punten gemeten tijdens de Drive Test, voor en na correctie van de positie, respectievelijk in rood en zwart.

Op basis van de gecorrigeerde posities worden cellen gedefinieerd om de middeling te kunnen uitvoeren. Een corridor met een vaste breedte van 10 m wordt gedefinieerd door middel van een buffer rond het door de punten gedefinieerde traject. De punten werden vervolgens opnieuw bemonsterd met een interval van 30 m, en op deze punten werd een Voronoi-verdeling toegepast. (Deze parameterwaarden zijn empirisch gekozen om in de meeste situaties te passen.) De resulterende Voronoi-cellen worden in de breedte verdeeld met behulp van de buffer, zodat ze niet breder worden dan de breedte van de weg. De resulterende cellen vertegenwoordigen een ruimtelijk gebied van geschikte grootte en worden gebruikt om de gemiddelden van de gewenste velden te berekenen. (Zie Figuur 8).



Fig. 8. De cellen die zijn verkregen voor het traject weergegeven in Figuur 7.

Binnen elke cel worden de punten van de Drive Test en de gesimuleerde punten van de globale kaart afzonderlijk gemiddeld. Elke cel wordt dus een punt in de ruimte tussen het "gemeten veld" en het "gesimuleerde veld".

5.2. Resultaten

De plot van de punten in het gemeten veld versus de gesimuleerde veldruimte wordt getoond in Figuur 9. De bissectrice is weergegeven in rood en vertegenwoordigt het geval waarin het gesimuleerde veld identiek is aan het gemeten veld.

Er zijn verschillende opmerkingen over deze grafiek. Bijna alle metingen en simulaties wijzen op een veldsterkte van minder dan een paar volt per meter, ver onder de norm. Vervolgens vertoont de puntenwolk een aanzienlijk hoger gewicht onder de bissectrice dan erboven, zeker wanneer de velden intenser zijn, wat de "maximaliserende" kwaliteit van de simulaties bevestigt.

De foutbronnen in deze procedure zijn enerzijds de stochastische aard van de metingen en anderzijds de correctiefase van de puntpositie, die in zeldzame gevallen kan resulteren in een grote verplaatsing. De "outliers" in Figuur 7 komen overeen met dergelijke punten.

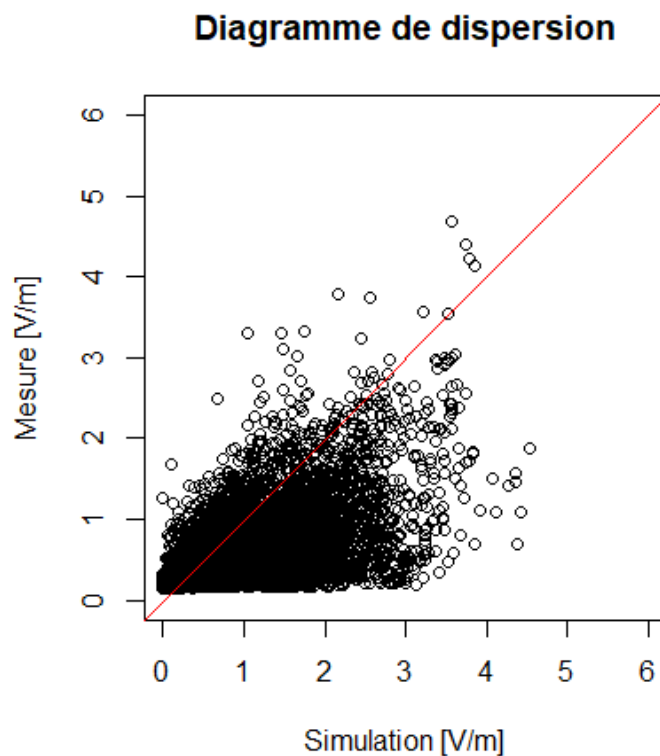
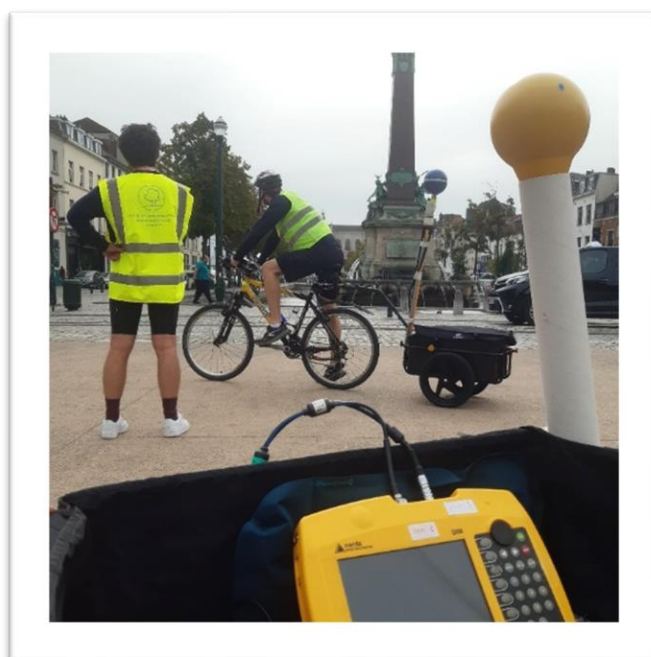


Fig. 9: Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde veldsterkte voor elke beschouwde cel.

6. CONCLUSIES

In de regio Brussel werd een Drive Test uitgevoerd om het elektrische veld te meten dat door cellulaire downlinkdiensten wordt veroorzaakt. Dit is het tweede achtereenvolgende jaar dat de metingen per fiets zijn gedaan, waardoor een nauwkeurigere vergelijking met de metingen van vorig jaar mogelijk is.

- Signaaldetecties in de 700 MHz-, 1400 MHz- en 3600 MHz-banden, die overeenkomen met de NR-normen, blijven zeer schaars, maar nemen sterk toe ten opzichte van de metingen van 2023. De intensiteiten in deze banden nemen ook toe. Deze vaststellingen weerspiegelen de ontwikkeling van het 5G-netwerk in Brussel, hoewel het gebruik ervan marginaal blijft.
- De resultaten tonen een zeer lichte stijging van de gemeten waarden ten opzichte van 2023 in alle andere banden, wat overeenkomt met de verdichting van het nog steeds veel gebruikte legacy-netwerk.
- De blootstelling aan elektromagnetische velden blijft tijdens het gehele traject van de meting onder 9 V/m.
- De maatregelen bevestigen het maximalisatiekarakter van de simulaties en dat de simulatiehypothese geschikt zijn voor de afgifte van vergunningen.



02 775 75 75
WWW.ENVIRONNEMENT.BRUSSELS

Redactie:
Verantw. uitg.:

Dr. Christopher Gerekos, Dr. Luca Petrillo
B. Dewulf, B. Willocx – Havenlaan 86C/3000 - 1000 Brussel

