



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 209427 - 2764710 - v1.0

05/05/2023

Mesures des champs électromagnétiques à Séoul et Naju, villes leader du déploiement de la 5G

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : **DIRECTION MILIEUX ET IMPACTS SUR LE VIVANT**

Rédaction : BONNET Anne-Sophie

Vérification : SELMAOUI BRAHIM; LEOZ EVA; ROTUREAU PATRICIA

Approbation : Document approuvé le 05/05/2023 par MORIN ANNE

Liste des personnes ayant participé à l'étude : BONNET Anne-Sophie ; DE SEZE René

Table des matières

1	Contexte : La Corée du Sud, pays leader du déploiement de la 5G	7
1.1	La technologie 5G-NR déployée en Corée du Sud	7
1.1.1	Débit	7
1.1.2	Densité de connectivité.....	8
1.1.3	Latence	8
1.1.4	Fiabilité	9
1.2	Le réseau 5G-NR déployé en Corée du sud	10
2	Objectifs : examiner les niveaux de CEM au cours du déploiement de la 5G.....	11
3	Résultats.....	12
3.1	Déploiement des antennes 5G-NR entre 2019 et 2022	12
3.2	Evolution de la couverture du réseau 5G-NR entre 2019 et 2022.....	13
3.2.1	Réseau LGU+	14
3.2.2	Réseau SKT	18
3.2.3	Réseau KT.....	22
3.3	Relevés exposimétriques.....	25
3.3.1	Zones urbaines	25
3.3.2	Zones urbaines denses	28
3.3.3	A proximité d'une station 5G.....	35
3.3.4	Trajet en semaine (aller Séoul – Naju) sur un trajet en zones rurale, urbaine et urbaine dense dans un train à grande vitesse.....	38
3.3.5	Trajet le week-end (retour Naju – Seoul) sur un trajet en zones rurale, urbaine et urbaine dense dans un train à grande vitesse.....	40
3.3.6	Trajet en zone urbaine dense (en voiture dans Séoul) le dimanche	43
3.3.7	Trajet en métro entre l'aéroport d'Incheon et l'agglomération de Séoul.....	46
3.3.8	Point fixe en zone urbaine dense durant la nuit.....	48
4	Synthèse.....	51
	Figure 1 : Comparaison d'un réseau 2G/3G/4G par rapport à un réseau 5G (Source : NI)	8
	Figure 2 : Synthèse des performances attendues de la technologie 5G (Source : NI).....	9
	Figure 3 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : LGU+)	14
	Figure 4 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : LGU+)	15
	Figure 5 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : LGU+)	16
	Figure 6 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : LGU+)	16
	Figure 7 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : LGU+).....	17
	Figure 8 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2020 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : LGU+)	17
	Figure 9 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : SKT).....	18
	Figure 10 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : SKT).....	19
	Figure 11 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : SKT).....	20

Figure 12 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : SKT).....	20
Figure 13 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : SKT).....	21
Figure 14 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : SKT).....	21
Figure 15 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : KT).....	22
Figure 16 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : KT).....	23
Figure 17 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : KT).....	23
Figure 18 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : KT).....	24
Figure 19 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : KT).....	24
Figure 20 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : KT).....	25
Figure 21 : Zones cartographiées à Naju.....	26
Figure 22 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services.....	27
Figure 23 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) au cumul des différents services.....	27
Figure 24 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services.....	28
Figure 25 : Zones cartographiées (Séoul quartiers : Yongsan : National museum of Korea, Hangang-daero, War Memorial of Korea, Seoul central Mosque).....	29
Figure 26 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services.....	30
Figure 27 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services.....	30
Figure 28 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services.....	31
Figure 29: Zones cartographiées (Seoul Museum of History, Sinchon-ro, Hongdae).....	32
Figure 30 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services.....	33
Figure 31 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services.....	33
Figure 32 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services.....	34
Figure 33 : Zones repérées à proximité de la station de base.....	35
Figure 34 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services.....	36
Figure 35 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services.....	36
Figure 36 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services.....	37
Figure 37 : Liaison ferroviaire empruntée Naju – Seoul (Source : KTX).....	38
Figure 38 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services.....	39
Figure 39 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services.....	39
Figure 40 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services.....	40
Figure 41 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services.....	41
Figure 42 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services.....	41
Figure 43 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services.....	42
Figure 44 : Trajet emprunté dans l'agglomération de Séoul (Source : Seoulcitybus).....	43
Figure 45 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services.....	44
Figure 46 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services.....	44
Figure 47 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services.....	45

Figure 48 : Trajet emprunté de l'aéroport d'Incheon à l'agglomération de Séoul	46
Figure 49 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services	47
Figure 50 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services	47
Figure 51 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services	48
Figure 52 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services	49
Figure 53 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services	50
Figure 54 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services	50
Figure 55 : Mesures des campagnes 2019 et 2022 par service pour tous les environnements ...	53
Figure 56 : Mesures des campagnes 2019 et 2022 par service sur le trajet routier Séoul-Aéroport	54
Figure 57 : Mesures des campagnes 2019 et 2022 par service sur le trajet Séoul-Naju en train	55
Figure 58 : Mesures des campagnes 2019 et 2022 par service sur le trajet Naju-Séoul en train	55
Tableau 1 : Bande passante des 3 opérateurs (Source : KCA).....	10
Tableau 2 : Fournisseurs des stations de base des 3 opérateurs (Source : KCA)	11
Tableau 3 : Caractéristiques du dosimètre ExpoM-RF	11
Tableau 4 : Nombre de stations 5G pour l'opérateur KT en 2019 et en 2022 (Source : KT).....	12
Tableau 5 : Répartition des stations 5G pour l'opérateur KT en fonction des fabricants en 2019 et en 2022 (Source : KT).....	13
Tableau 6 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne (Naju)	28
Tableau 7 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne	34
Tableau 8 : Comparaison des résultats de mesure des campagnes 2019 et 2022	37
Tableau 9 : Comparaison des résultats de mesure des campagnes 2019 et 2022	40
Tableau 10 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne	42
Tableau 11 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne	45
Tableau 12 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne	48
Tableau 13 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne	51
Tableau 14 : Synthèse des mesures d'exposition des campagnes 2019 (valeurs en bleu) et 2022 (valeurs en rouge)	51
Tableau 15 : Valeurs maximales de champ électrique à proximité de l'antenne de l'opérateur KT	52

Résumé

En 2023, la 5^{ème} génération de signaux des télécommunications, ou 5G, est en cours de déploiement en France. Il est possible que ce déploiement s'accompagne d'une évolution des niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques (CEM) dans l'environnement notamment celui du public. L'Ineris avait pour objectif d'apporter des éléments de réponse sur cette évolution en prenant comme référence le pays pionnier du déploiement de la 5G, la Corée du Sud. L'Ineris a donc organisé deux campagnes de mesures en 2019 et 2022, au stade de déploiement partiel (après 2 ans), et à son achèvement (après 4 ans). Les mesures ont été réalisées par le Centre technique des industries mécaniques (CETIM, France) en collaboration avec l'Agence nationale de recherche radio (NRRRA, Corée du Sud).

L'environnement humain a été examiné en prenant en compte la variation des activités humaines dans l'espace et dans le temps. Les mesures ont été réalisées en zone urbaine dense à Séoul, en zone urbaine non dense à Naju, en zone non urbaine et dans les transports. Les mesures ont été réalisées dans les quartiers d'affaire, résidentiels, commerciaux et de divertissement, la nuit et le jour, en semaine et le week-end.

Selon notre protocole, les niveaux moyens d'exposition du public en zones urbaines dense et non dense n'ont pas augmenté entre 2019 et 2022. En 2022, ces niveaux étaient respectivement 47 et 203 fois inférieurs à la limite de l'ICNIRP pour le public, 61 V/m. Les niveaux moyens d'exposition dans les transports et sur un point fixe la nuit en zone urbaine dense ont faiblement voire modérément augmenté entre 2019 et 2022. En 2022, ces niveaux comparés à 61 V/m étaient respectivement 40 à 67 fois plus faibles sur les trajets et 87 fois plus faibles sur le point fixe. L'amplitude maximale d'augmentation atteignait 1 000 mV/m, soit 1 soixantième de 61 V/m. Ces variations incluaient des signaux ascendants d'une valeur approximative de 500 mV/m correspondant à la proximité d'un téléphone portable en usage qui pouvait parasiter les mesures.

Finalement, dans cette campagne de mesures, à l'achèvement du déploiement de la 5G, les niveaux moyens d'exposition du public culminent à approximativement 1500 mV/m, soit 1 quarantième de la limite d'exposition du public fixée à 61 V/m. Les pics (soit une valeur mesurée sur 5 secondes) culminaient à 6000 mV/m pour la 5G et 10 000 mV/m pour le niveau global d'exposition. Ceci correspondait au dixième et sixième de la limite (moyennée sur 6 minutes) à 61 V/m.

En situation d'achèvement du déploiement de la 5G, la valeur absolue (indépendamment de la notion de durée de mesure) de la limite visant à protéger le public n'est donc dépassée ni par les niveaux moyens, ni par les pics (maximums d'exposition). La marge avant dépassement est importante, comprise entre un facteur 40 et 200 pour le niveau moyen et 6 et 10 pour les pics d'exposition selon les environnements.

En conclusion, ces mesures effectuées en Corée du Sud suggèrent que le déploiement de la 5G ne s'accompagne pas d'une élévation notable du niveau environnemental de CEM pour le public. Une 3^{ème} campagne de mesures en Corée du Sud à compter de 2024 permettrait de consolider ces conclusions.

Remerciements : Les auteurs remercient Ikram Nioua et Pierre-Baptiste Petit du Centre technique des industries mécaniques (CETIM, France) pour la réalisation des mesures, ainsi que Donggeun Choi de l'Agence nationale de recherche radio (NRRRA, Corée du Sud) pour sa contribution à leur mise en œuvre.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Mesures des champs électromagnétiques à Séoul et Naju, villes leader du déploiement de la 5G, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 209427 - 2764710 - v1.005/05/2023.

Mots-clés :

Champs électromagnétiques, 5G, expologie, Corée du Sud, niveaux environnementaux, public

1 Contexte : La Corée du Sud, pays leader du déploiement de la 5G

Courant 2019, seuls 2 pays étaient entrés en phase d'exploitation commerciale des réseaux 5G : la Corée du sud (depuis avril 2019) et l'Australie (depuis juillet 2019). Ce déploiement en Corée, correspondait à une évolution majeure avec l'introduction des technologies mobiles 5G Nouvelle Radio (5G-NR). Celle-ci répondait aux attentes, toujours plus importantes, des utilisateurs grand public et professionnels désireux d'accéder à des services mobiles à très haut débit et à faible latence, performants et fiables. De ce point de vue, la Corée du sud disposait de la plus grande maturité en termes de couverture et d'utilisateurs avec l'exploitation commerciale déjà effective.

En Europe, la Suisse possédait déjà en 2019 l'infrastructure qui permettait d'initier le déploiement commercial de cette technologie mais sans pour autant qu'elle ait été mise en service. La feuille de route publiée par le Gouvernement et l'Arcep le 16 juillet 2018 indiquait parmi ses objectifs le déploiement commercial de la 5G dans au moins une grande ville d'ici 2020 et la couverture en 5G des axes de transports principaux d'ici 2025.

1.1 La technologie 5G-NR déployée en Corée du Sud

La 5G est la nouvelle génération des réseaux mobiles. Elle a été introduite par l'industrie des communications électroniques. L'Union Internationale des Télécommunications, organisme de normalisation est connu sous l'acronyme UIT. Il définit sous la nomenclature « IMT-2020 » les grandes catégories de performances que ces nouvelles technologies permettront d'atteindre et les spécifications techniques pour le fonctionnement des systèmes de radiocommunication qui prendront en charge la 5G.

L'introduction de la technologie 5G sur de nouvelles fréquences permet d'apporter plus de capacité aux réseaux. La 5G présente avant tout plusieurs ruptures technologiques importantes dans le domaine des communications électroniques sans fil en mobilité concernant le débit mobile, la densité d'objets connectés, la fiabilité du réseau, la latence et l'adaptabilité du système.

1.1.1 Débit

La 5G introduit l'ultra haut débit mobile avec des débits théoriques au moins 10 fois supérieurs à ceux des technologies existantes (ultra haut débit mobile ou enhanced Mobile BroadBand, eMBB).

L'introduction de la 5G va fortement augmenter l'efficacité spectrale par rapport aux technologies existantes. Ce gain de performance est rendu possible par l'introduction de nouvelles techniques telles que :

- le MIMO (Multiple Input Multiple Output) et le beamforming qui permettent, grâce à des stations de base composées d'un grand nombre d'émetteurs/récepteurs, de créer des faisceaux d'ondes directifs limitant ainsi la puissance du signal là où il n'est pas utile. La gestion des faisceaux permet de séparer spatialement les communications qui occupent les mêmes fréquences et limite d'autant les brouillages potentiels entre communications et entre cellules ;

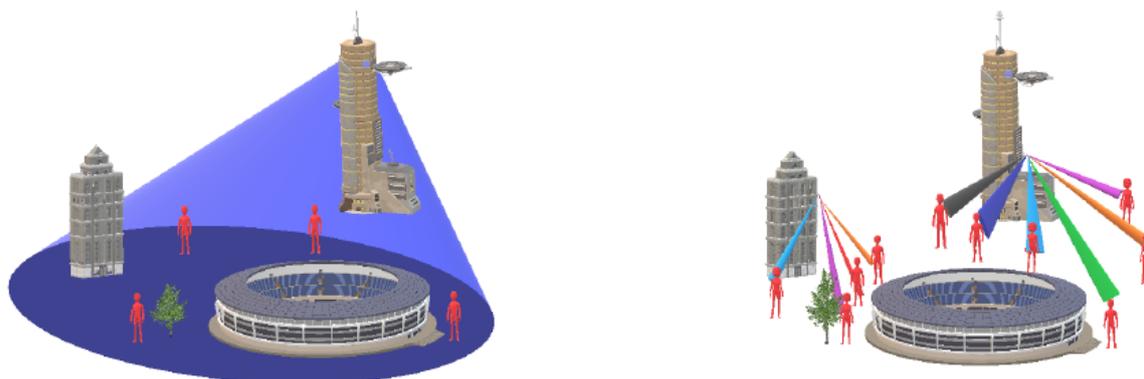


Figure 1 : **Comparaison d'un réseau 2G/3G/4G par rapport à un réseau 5G** (Source : NI)

- des réductions du poids de la signalisation dans les trames radio qui permettent l'optimisation de la bande passante dédiée au trafic utile ;
- une meilleure utilisation du spectre utile par porteuse, et notamment des canalisations radio larges, pour optimiser le débit par MHz ;
- la coordination des cellules entre elles pour limiter les occurrences de brouillages aux limites des cellules;
- la gestion dynamique de la structure des trames radio en mode TDD (time division duplexing), avec notamment une adaptation rapide des ratios descendant et montant en fonction du trafic pour réduire les brouillages et adapter les bandes passantes à l'asymétrie du trafic en temps réel.

Cette meilleure efficacité spectrale doit se traduire pour les utilisateurs par une amélioration substantielle du débit à même de fournir les services ultra haut débit (eMBB).

La fourniture d'un accès mobile à ultra haut débit en 5G à l'extérieur des bâtiments, devrait par exemple, atteindre un débit descendant théorique d'au moins 100 Mbit/s dans 10 MHz, ce qui correspond à un débit théorique descendant de 1 Gbit/s dans une porteuse de 100 MHz simplex.

1.1.2 Densité de connectivité

La technologie 5G doit permettre d'augmenter substantiellement le nombre d'objets connectés par unité de surface en comparaison avec les technologies existantes, y compris la 4G. Cette croissance est notamment rendue possible par des protocoles de connexion très allégés qui utilisent une très faible proportion de la bande passante.

La fourniture d'un accès massif pour les objets connectés en 5G, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des bâtiments, devrait par exemple permettre une densité de connexion de plusieurs centaines de milliers d'objets au km².

La 5G devrait permettre une densité d'objets connectés par surface très largement augmentée, la connexion massive et simultanée d'un très grand nombre d'objets, avec, entre autres, une consommation d'énergie largement réduite pour augmenter substantiellement la durée de vie des batteries des objets ainsi connectés (internet des objets (IoT) massif (mMTC : massive Machine Type Communication)).

1.1.3 Latence

La 5G pourra assurer un réseau ultra-fiable et à très faible latence (uRLLC : ultra Reliable Low Latency Communication). Ce segment rassemble les cas d'usage nécessitant un accès au réseau garanti et une très grande réactivité, donc une latence très faible pour les communications qui sont portées par la connexion 5G.

Une autre amélioration attendue par la 5G est la réduction de la latence de bout en bout des communications, ouvrant la possibilité de fournir des services connectés qui nécessitent une très forte réactivité et qui ne pouvaient être rendus jusque-là que dans un environnement fixe.

Cette amélioration vient, entre autres, des techniques suivantes :

- boucle temporelle d'acquittement des paquets radio fortement réduite ;
- gestion dynamique de la structure des trames radio dans le cas du mode TDD.

La fourniture d'un accès mobile à faible latence en 5G à l'extérieur des bâtiments devrait par exemple permettre d'atteindre un délai de bout en bout de moins de 5 millisecondes (ms).

1.1.4 Fiabilité

Certains des nouveaux usages envisagés avec les réseaux 5G nécessitent une fiabilité renforcée de la connexion avec un taux d'indisponibilité réduit au minimum.

Les techniques de dual connectivity et de retransmission rapide des paquets de données (Hybrid Automatic Repeat Request HARQ) qui sont prévus pour la 5G devraient permettre de limiter les pertes de paquets et de rendre les connexions plus fiables.

La virtualisation de certaines parties des réseaux 5G devrait aussi permettre une meilleure résilience de ceux-ci, et donc une amélioration de la fiabilité des connexions au réseau.

La fourniture d'une connexion ultra fiable en 5G à l'extérieur des bâtiments pourrait, par exemple, être disponible 99% du temps.

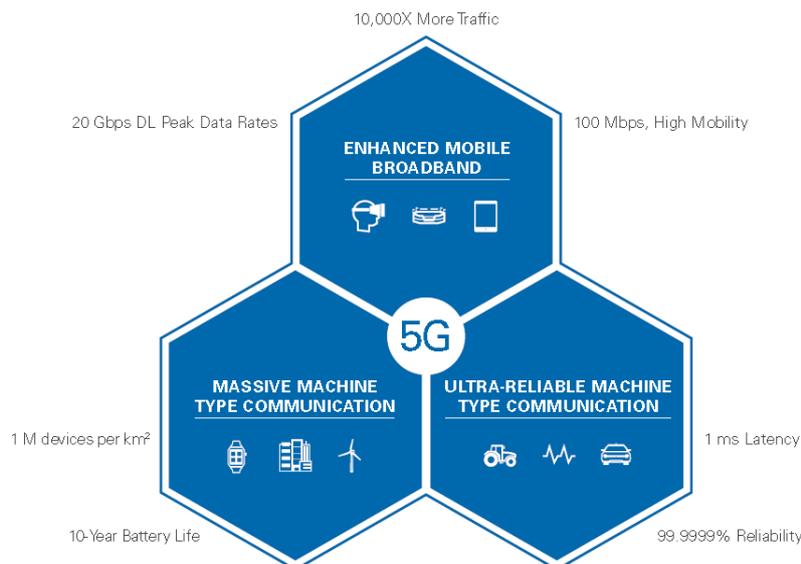


Figure 2 : Synthèse des performances attendues de la technologie 5G (Source : NI)

La 5G pourra assurer le « réseau sur mesure ». Cette dernière notion concerne la technologie dite du « network slicing » qui permet à la fois de gérer de bout en bout une qualité de service et d'organiser les réseaux pour que des services qui nécessitent des performances différentes coexistent sur le même réseau.

Sur la base de ces performances améliorées, il est attendu le développement de nouveaux services innovants qui n'auraient pu être fournis avec la même facilité ou la même flexibilité avec les technologies existantes.

Ci-dessous une liste non exhaustive de nouveaux usages qui deviendraient possibles ou trouveraient

une ampleur inédite avec la 5G :

- vidéos à très haute résolution 4K-UHD et 8K à la fois en streaming descendant pour améliorer la qualité de visionnage, mais aussi dans le sens montant pour les usages plus professionnels, comme l'analyse d'images en temps réel des caméras à haute résolution pour la détection d'anomalies dans des contextes industriels ou de sécurité publique ;
- réalité virtuelle 360° en connectivité sans fil, en mobilité ou dans des environnements non propices à la connexion fixe, qui s'applique à de nombreux usages tels que les jeux, l'éducation, les formations professionnelles et le tourisme ;
- connectivité à haut débit et faible latence entre les véhicules et les infrastructures de transports et de véhicules à véhicules, ou pour les usages de divertissement à l'intérieur des véhicules ;
- suivi, pilotage et reconfiguration à distance de machines industrielles et de chaînes de production robotisées qui peuvent être reconfigurées rapidement et facilement sans besoin d'installer des câbles ;
- suivi logistique de bout en bout d'un très grand nombre de colis ou d'articles, notamment dans les grands noeuds de triage tels que les ports, les zones aéroportuaires, les gares ferroviaires ou les bases logistique du transport routier ;
- récupération des données de la multitude de capteurs de la « ville intelligente » pour, par exemple, contrôler les flux routiers et les divers niveaux de pollutions ;
- télé-opérations de toutes sortes, grâce à la faible latence et aux échanges d'images vidéo très précises, par exemple dans le domaine de la santé ou des exploitations minières ;
- suivi précis des troupeaux dans les exploitations agricoles grâce à des capteurs sur le bétail.

1.2 Le réseau 5G-NR déployé en Corée du sud

Le 3 avril 2019 à 23h, les trois opérateurs historiques ont activé leur réseau 5G. Ces trois opérateurs sont LG UPlus (LGU+), Korea Telecom (KT) et South Korea Telecom (SKT). Les bandes de fréquences utilisées sont les suivantes :

Tableau 1 : Bande passante des 3 opérateurs (Source : KCA)

Opérateur	Bande passante utilisée
LGU+	80 MHz : 3420 MHz-3500 MHz
KT	100 MHz : 3500 MHz-3600 MHz
SKT	100 MHz : 3600 MHz-3700 MHz

Parallèlement à cette attribution des bandes passantes, ces différents opérateurs ont fait des choix différents pour les fabricants des stations de base qui constituent leur réseau 5G. Le tableau ci-dessous présente ces éléments :

Tableau 2 : Fournisseurs des stations de base des 3 opérateurs (Source : KCA)

Fabricant	LGU+ (Bande passante 80 MHz) Fréquence centrale (3459,99 MHz)	KT (Bande passante 100 MHz) Fréquence centrale (3549,99 MHz)	SKT (Bande passante 100 MHz) Fréquence centrale (3650,01 MHz)
HUAWEI	-180 kHz (3459,81 MHz)		
SAMSUNG	-31,15 MHz (3428,84 MHz)	-41.22 MHz (3508,77 MHz)	-41.22 MHz (3608,79 MHz)
NOKIA	-630 kHz (3459,36)	90 kHz (3550,08 MHz)	-570 kHz (3649,44 MHz)
ERICSSON LG		-41.22 MHz (3508,77 MHz)	-41.22 MHz (3649,92 MHz)

2 Objectifs : examiner les niveaux de CEM au cours du déploiement de la 5G

L'objectif était d'examiner les niveaux de champs électromagnétiques (CEM) de la 5G à différents stades de son déploiement dans l'environnement humain.

Les niveaux de CEM ont été examinés par Ikram Nioua et Pierre-Baptiste Petit du Centre technique des industries mécaniques (CETIM, France). Ils ont mené les actions d'instrumentation et de mesure en collaboration avec Donggeun Choi de l'Agence nationale de recherche radio (NRRRA, Corée du Sud).

Deux stades du développement de la 5G ont été examinés grâce à 2 campagnes différentes de mesures, l'une mise en œuvre en novembre 2019, l'autre, en juillet 2022.

L'environnement humain a été examiné en prenant en compte la variation des activités humaines dans l'espace et dans le temps. Les mesures ont été réalisées en zone urbaine dense (Séoul), en zone urbaine non dense (Naju), en zone non urbaine et dans les transports. Les mesures ont été réalisées dans les quartiers d'affaire, résidentiels, commerciaux et de divertissement. Les mesures ont été réalisées la nuit et le jour, en semaine et le week-end.

Les relevés dosimétriques ont été réalisés dans ces environnements à l'aide du dosimètre ExpoM-RF.

Tableau 3 : Caractéristiques du dosimètre ExpoM-RF

Désignation	Fabricant / Modèle	N° de série
Exposimètre 88 - 5875 MHz	Fields at Work / ExpoM-RF	51

Le dosimètre ExpoM-RF est programmé pour acquérir le champ électrique de plusieurs services :

- FM : 87.5 – 108 MHz,
- DVB-T : 470 – 790 MHz,
- LTE 800 UL : 791 – 821 MHz,
- LTE 800 DL : 832 – 862 MHz,
- Global System for Mobile communications – Railways GSM-R 900 uplink (UL) : 880 – 915 MHz,
- GSM-R 900 downlink (DL) : 925 – 960 MHz,
- GSM / LTE 1800 UL : 1710 – 1785 MHz,
- GSM / LTE 1800 DL : 1805 – 1880 MHz,
- DECT : 1880 – 1900 MHz,
- UMTS / LTE 2100 UL : 1920 – 1980 MHz,
- UMTS / LTE 2100 DL : 2110 – 2170 MHz,
- W2G 2400 – 2483 MHz,
- LTE 2600 UL : 2500 – 2570 MHz,
- LTE 2600 DL : 2620 – 2690 MHz,
- 5G-NR: 5G Time Division Duplex (TDD) (Low Band) (B42TDD) 3400 – 3600 MHz,
- W5G 5150-5850 MHz.

3 Résultats

3.1 Déploiement des antennes 5G-NR entre 2019 et 2022

Le nombre de stations 5G de l'opérateur KT a été fortement augmenté en 2022 par rapport à 2019. Si l'on se base sur les informations fournies sur le rapport de la première campagne (24 novembre 2019), leur nombre a environ quadruplé. Les mises à jour de ces informations sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Nombre de stations 5G pour l'opérateur KT en 2019 et en 2022 (Source : KT)

Région	Nombre de stations KT 5G (novembre 2019)	Nombre de stations KT 5G (juillet 2022)
Sur tout le territoire	38 999	161 965
Séoul	9 878	26 322
Agglomération de Séoul (Incheon)	11 716	44 769
Gangwon-do	1 107	9 078
Chungcheong-do	3 529	17 153
Jeolla	3 124	15 291
Gyeongsang-do	9 241	45 637
Ile de Jeju	404	3 715

Tableau 5 : Répartition des stations 5G pour l'opérateur KT en fonction des fabricants en 2019 et en 2022 (Source : KT)

Fabricant	Nombre de stations KT 5G (novembre 2019)	Nombre de stations KT 5G (juillet 2022)
SAMSUNG	31 464	111 218
ERICSSON LG	4 317	29 701
NOKIA	3 218	21 046

3.2 Evolution de la couverture du réseau 5G-NR entre 2019 et 2022

Au 13 juillet 2022, la couverture annoncée pour les trois opérateurs est représentée dans les figures suivantes. Ces données sont issues des sites respectifs des trois opérateurs :

- LGU+ : <http://www.uplus.co.kr/css/iner/RetrieveCoverMapNoneSSL.hpi>
- SKT : <http://www.sktcoverage.com/html/sub01.html>
- KT : <https://nqi.kt.com/KTCVRG/coverage>

A noter qu'à l'instar du site cartoradio.fr mis en ligne par l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR) en France, il existe un site équivalent qui regroupe tous les émetteurs sur le territoire Sud-Coréen :

- www.spectrummap.kr

Les figures suivantes illustrent que la Corée de sud est parmi les pays les plus avancés dans le déploiement de la 5G ainsi que sa commercialisation. La couverture totale de ce réseau est atteinte dans tout Séoul, et elle est en phase d'achèvement à Naju.

3.2.1 Réseau LGU+

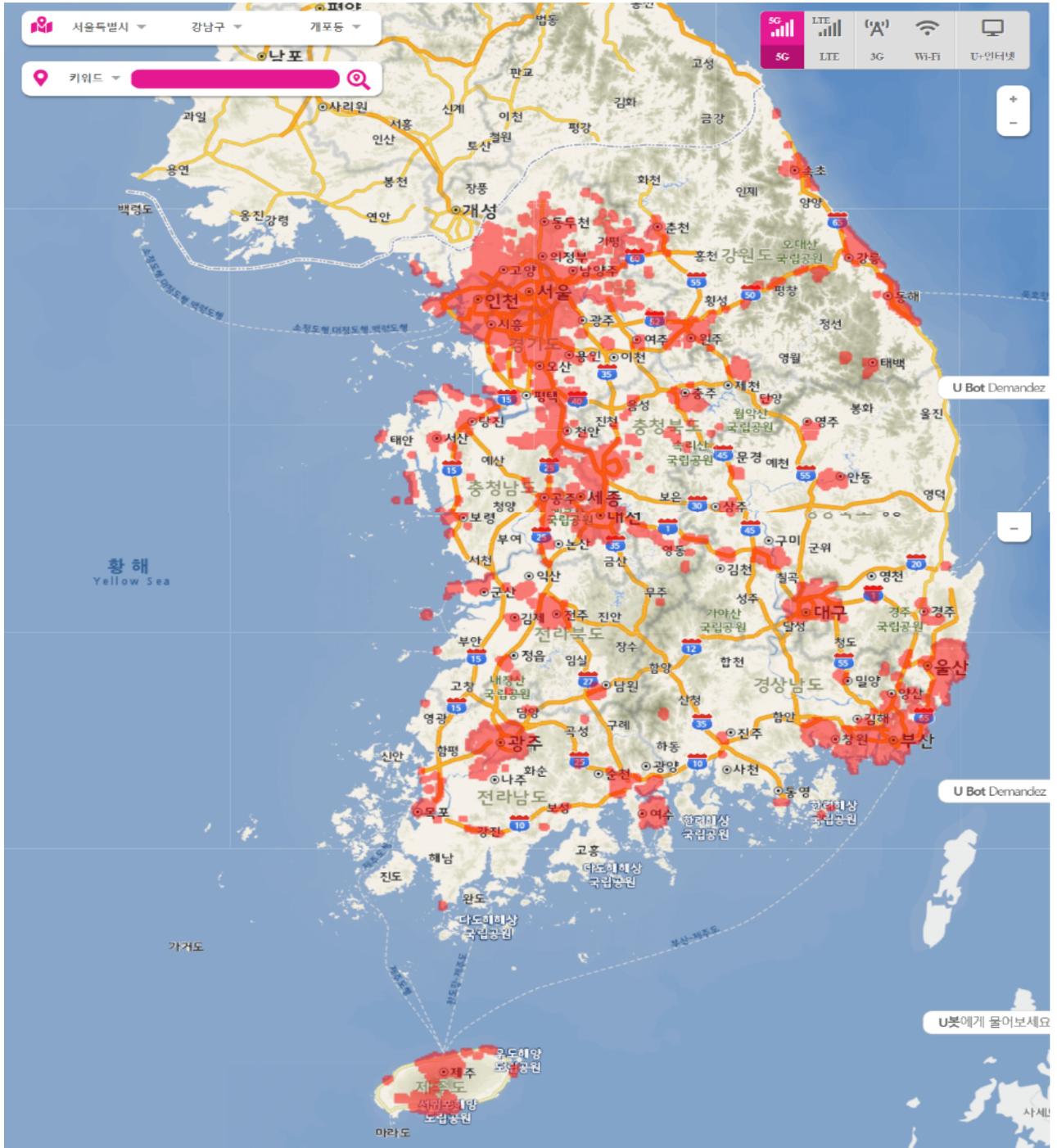


Figure 3 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : LGU+)

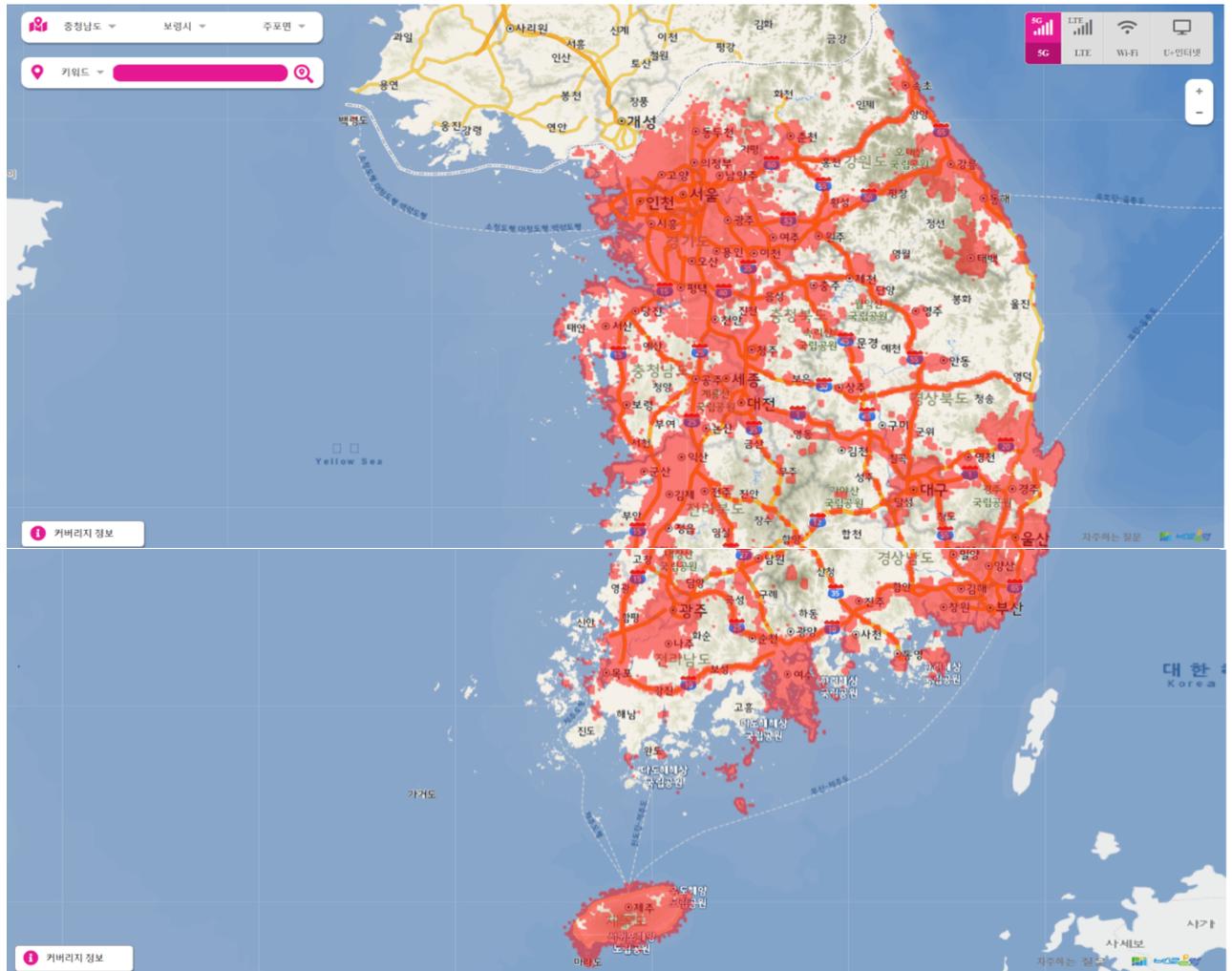


Figure 4 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : LGU+)

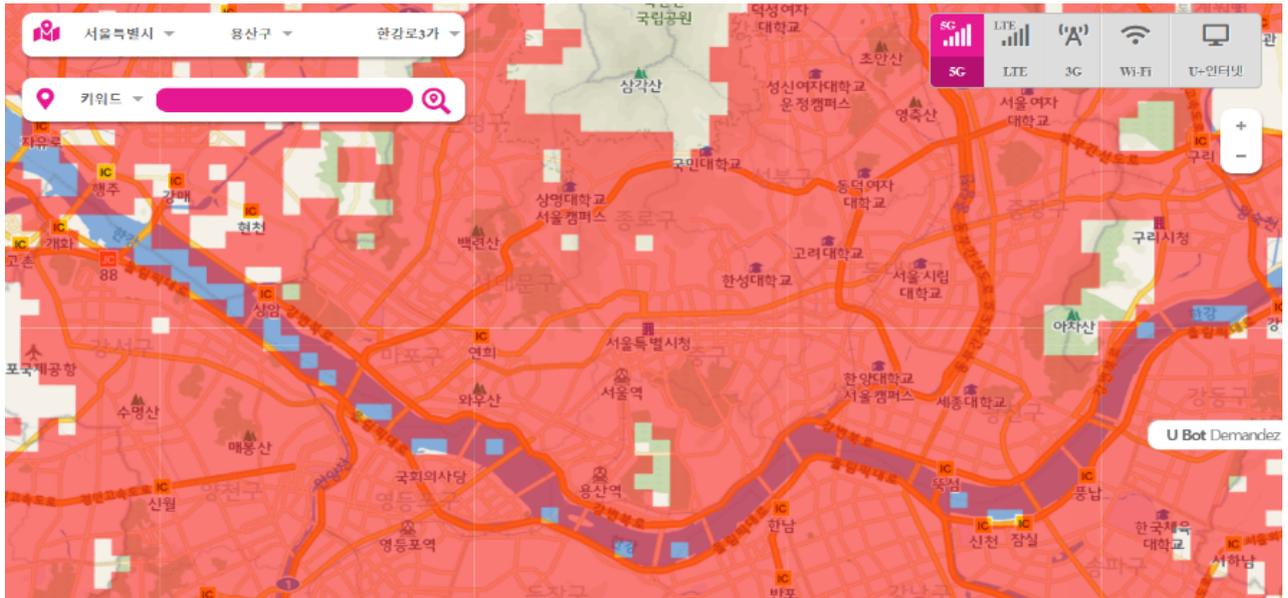


Figure 5 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : LGU+)

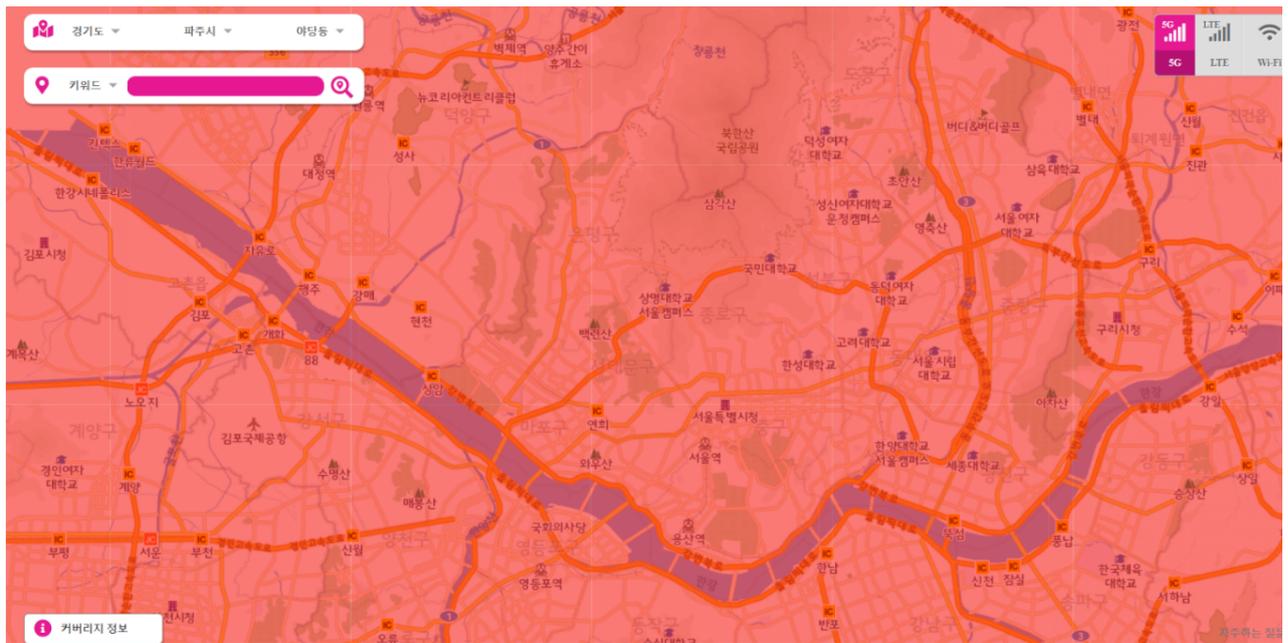


Figure 6 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : LGU+)

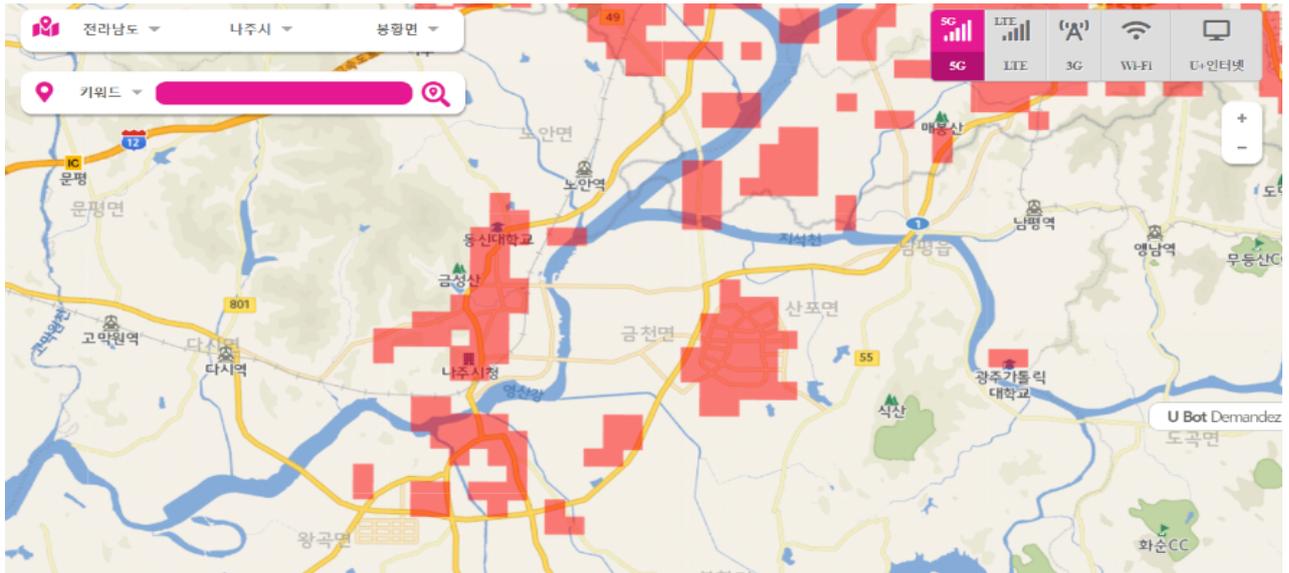


Figure 7 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : LGU+)

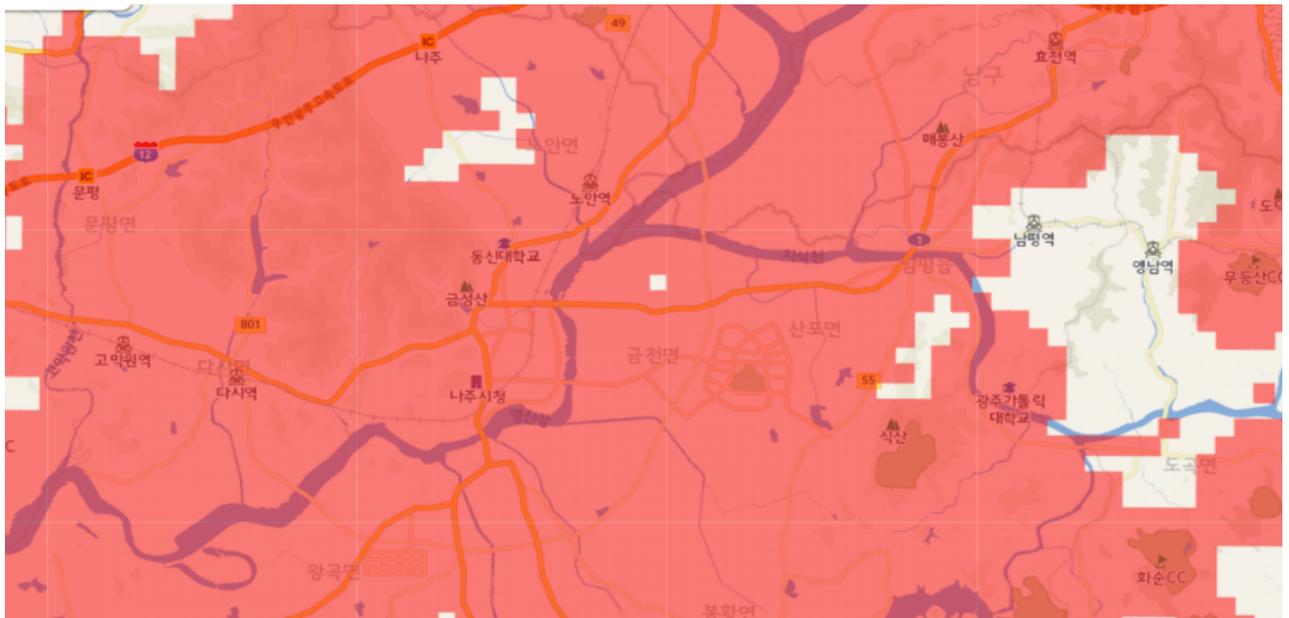


Figure 8 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2020 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : LGU+)

3.2.2 Réseau SKT

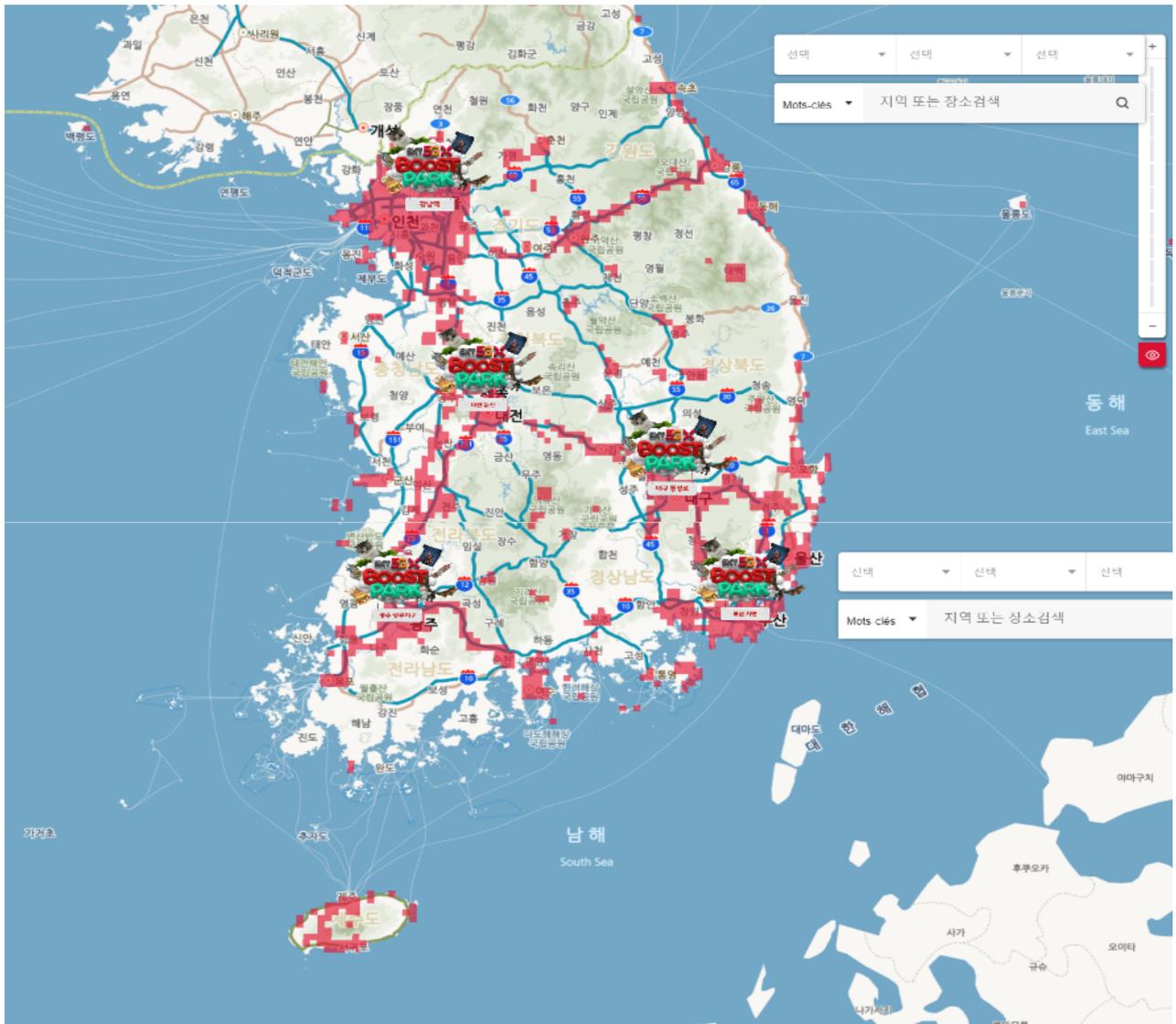


Figure 9 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : SKT)

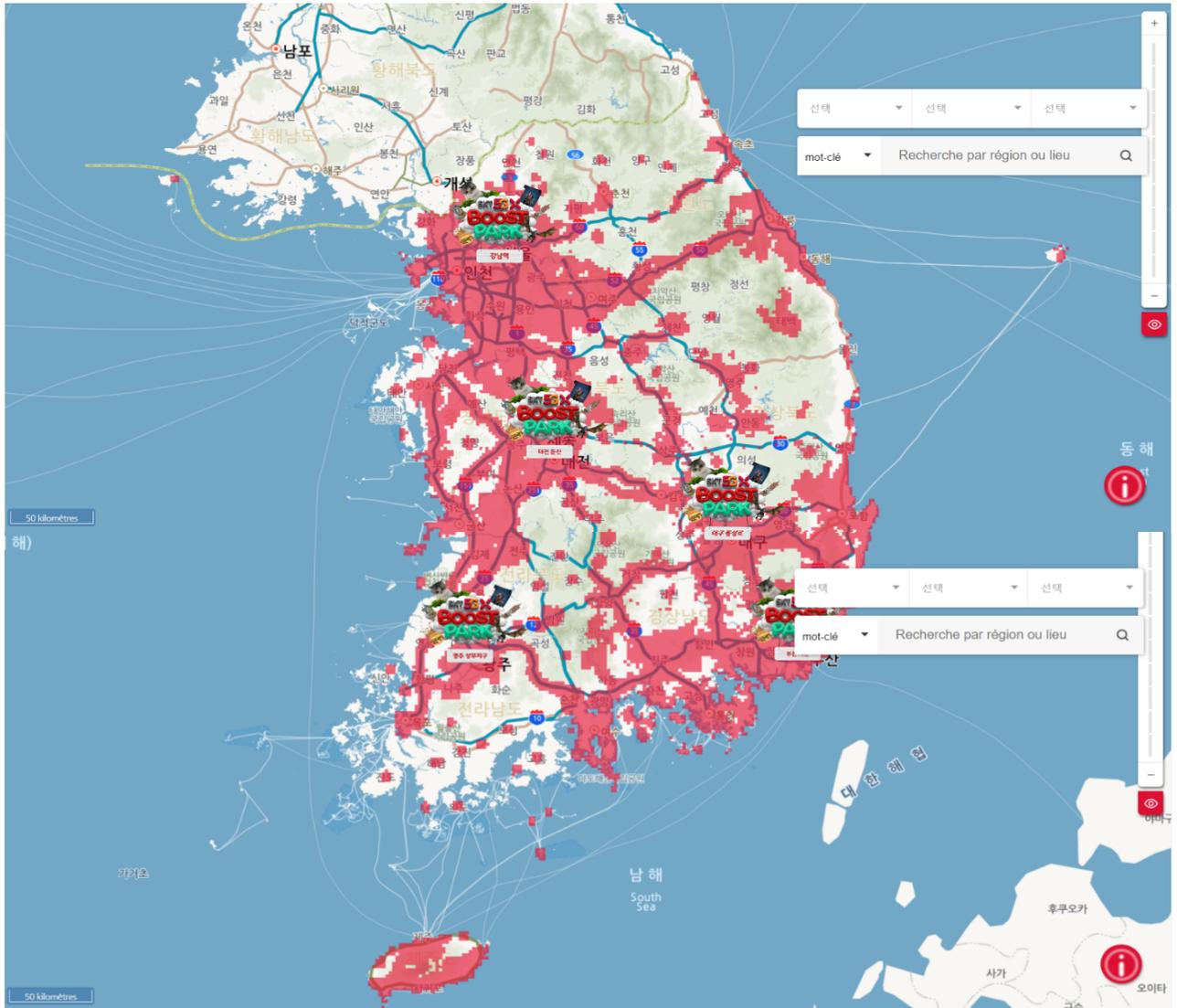


Figure 10 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : SKT)

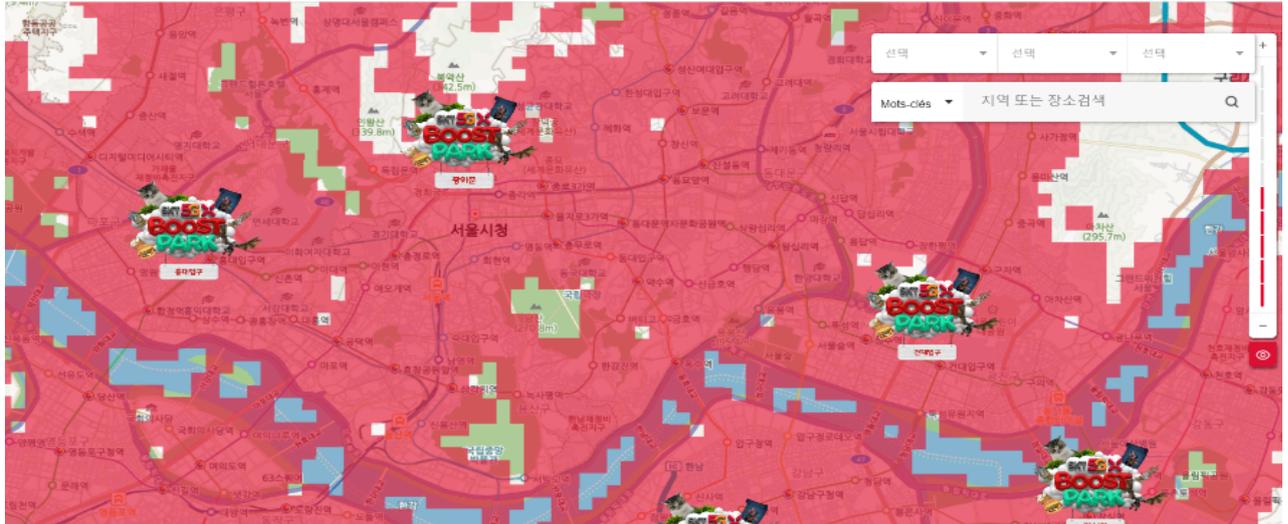


Figure 11 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : SKT)

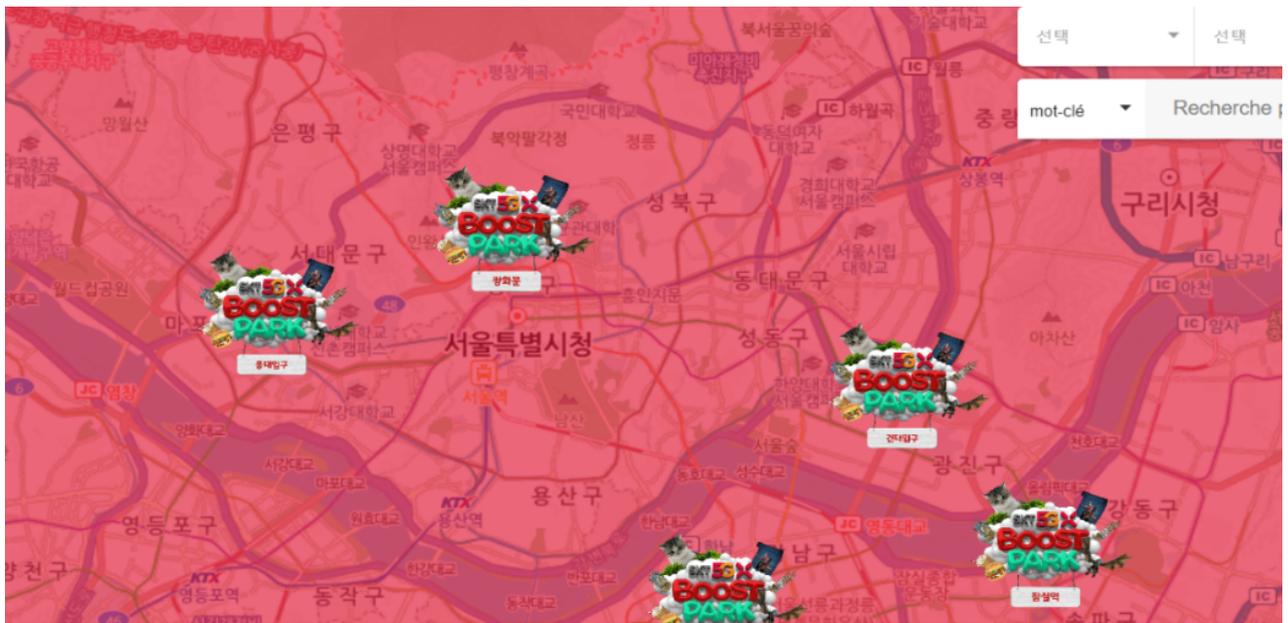


Figure 12 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : SKT)

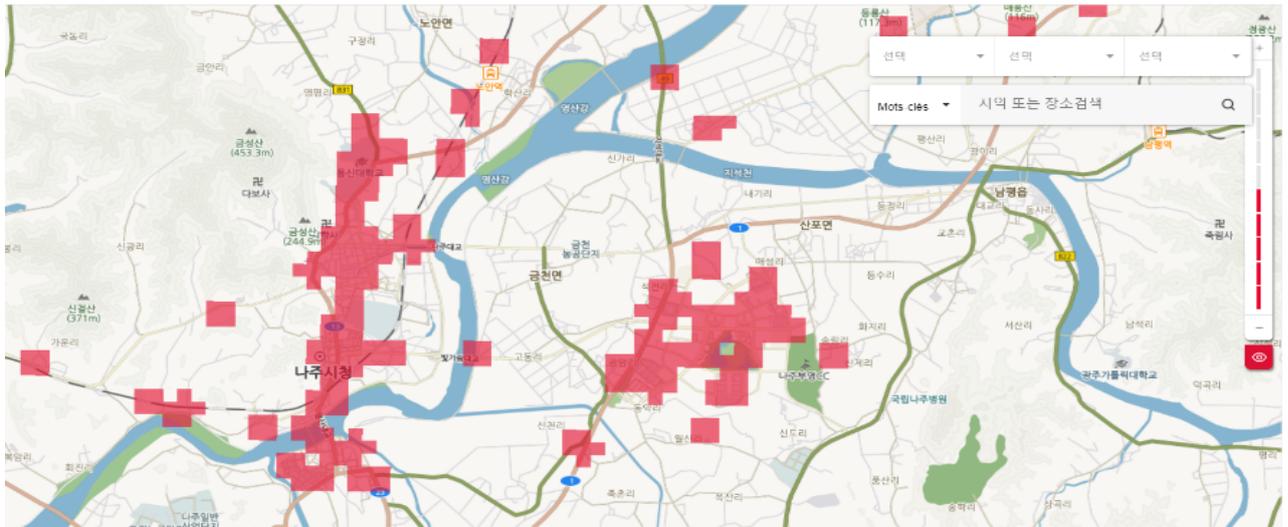


Figure 13 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : SKT)

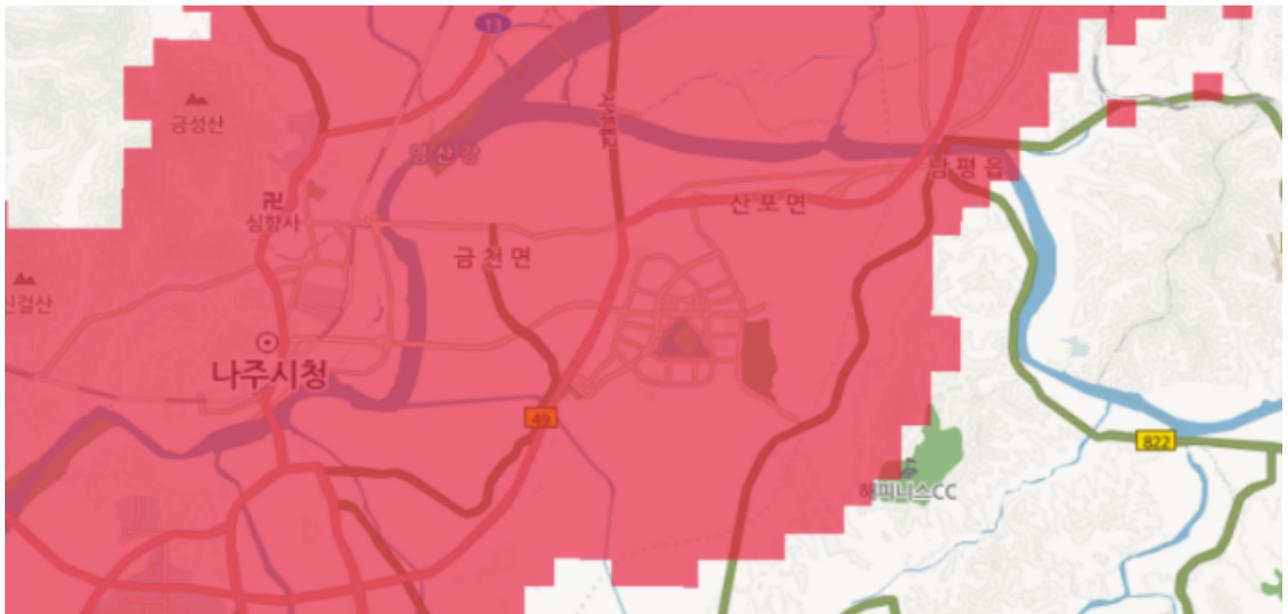


Figure 14 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : SKT)

3.2.3 Réseau KT

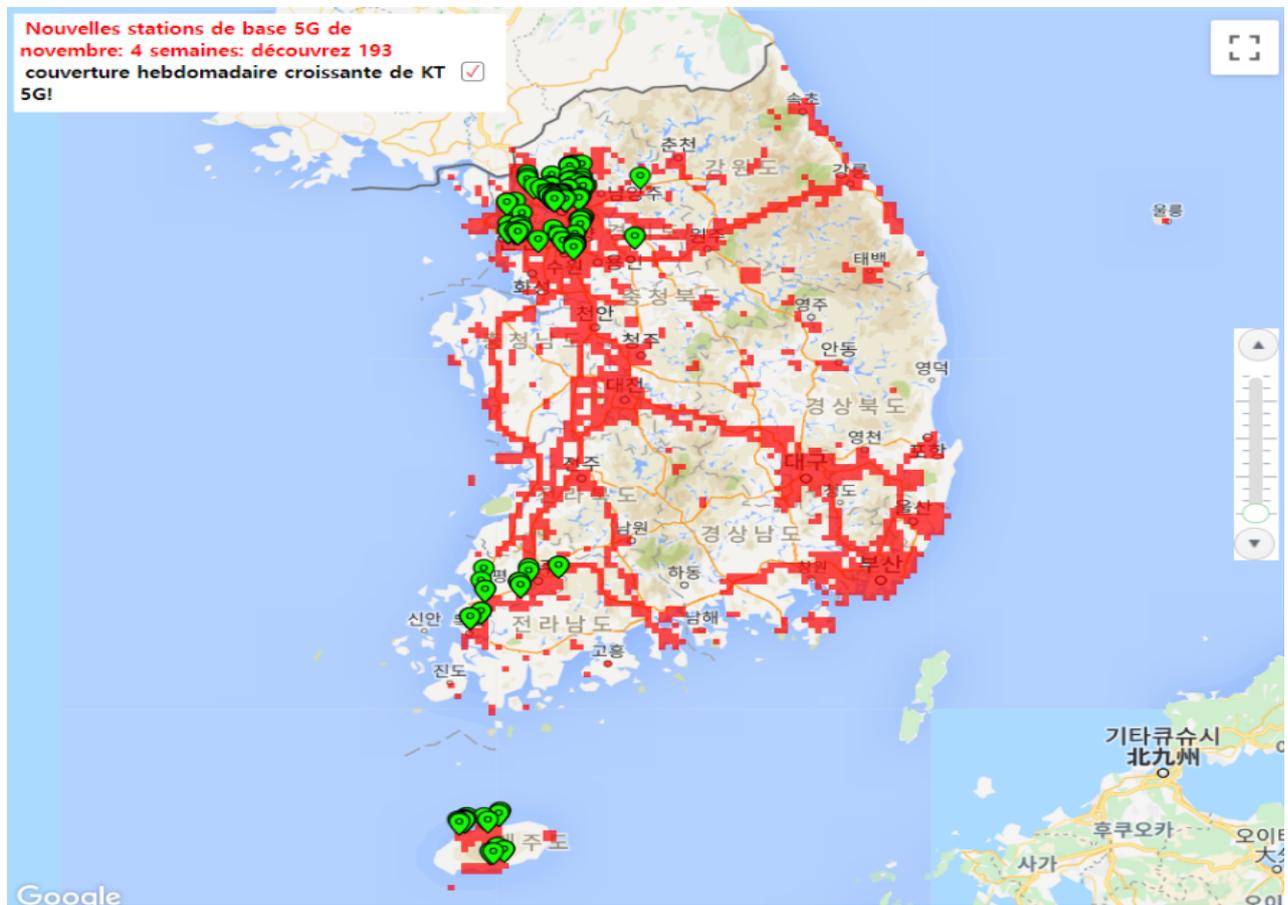


Figure 15 : **Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ensemble de la Corée du sud** (Source : KT)

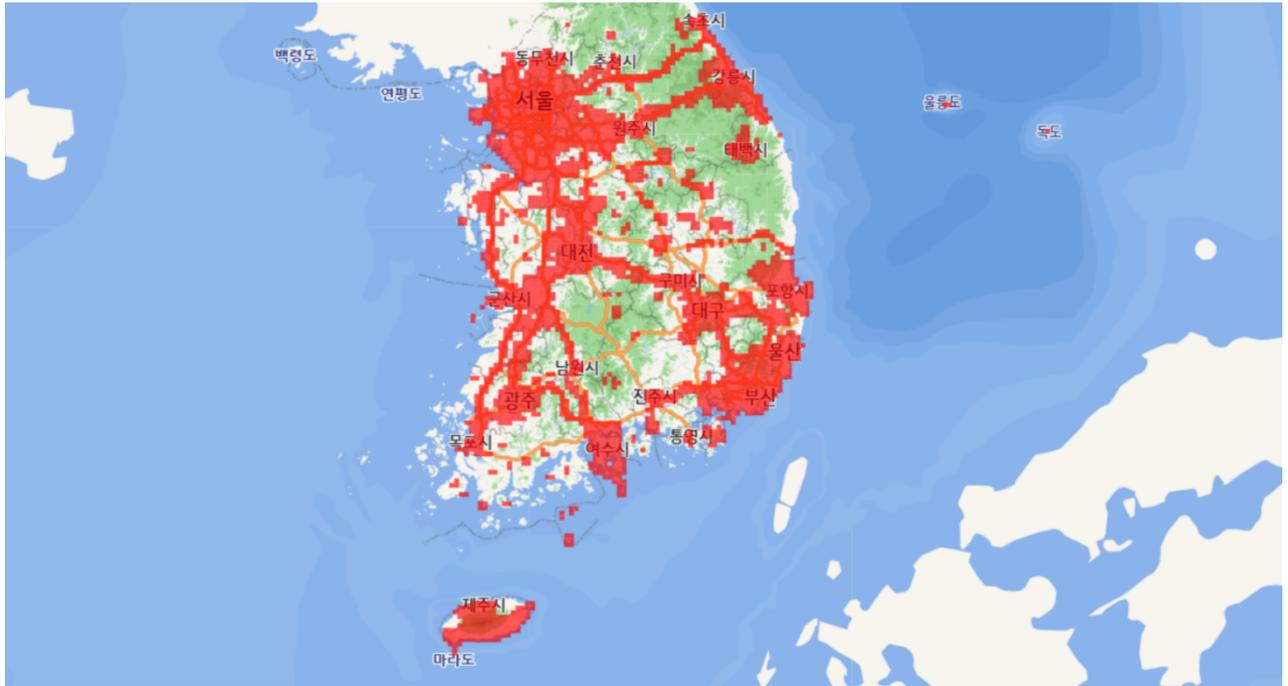


Figure 16 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour l'ensemble de la Corée du sud (Source : KT)

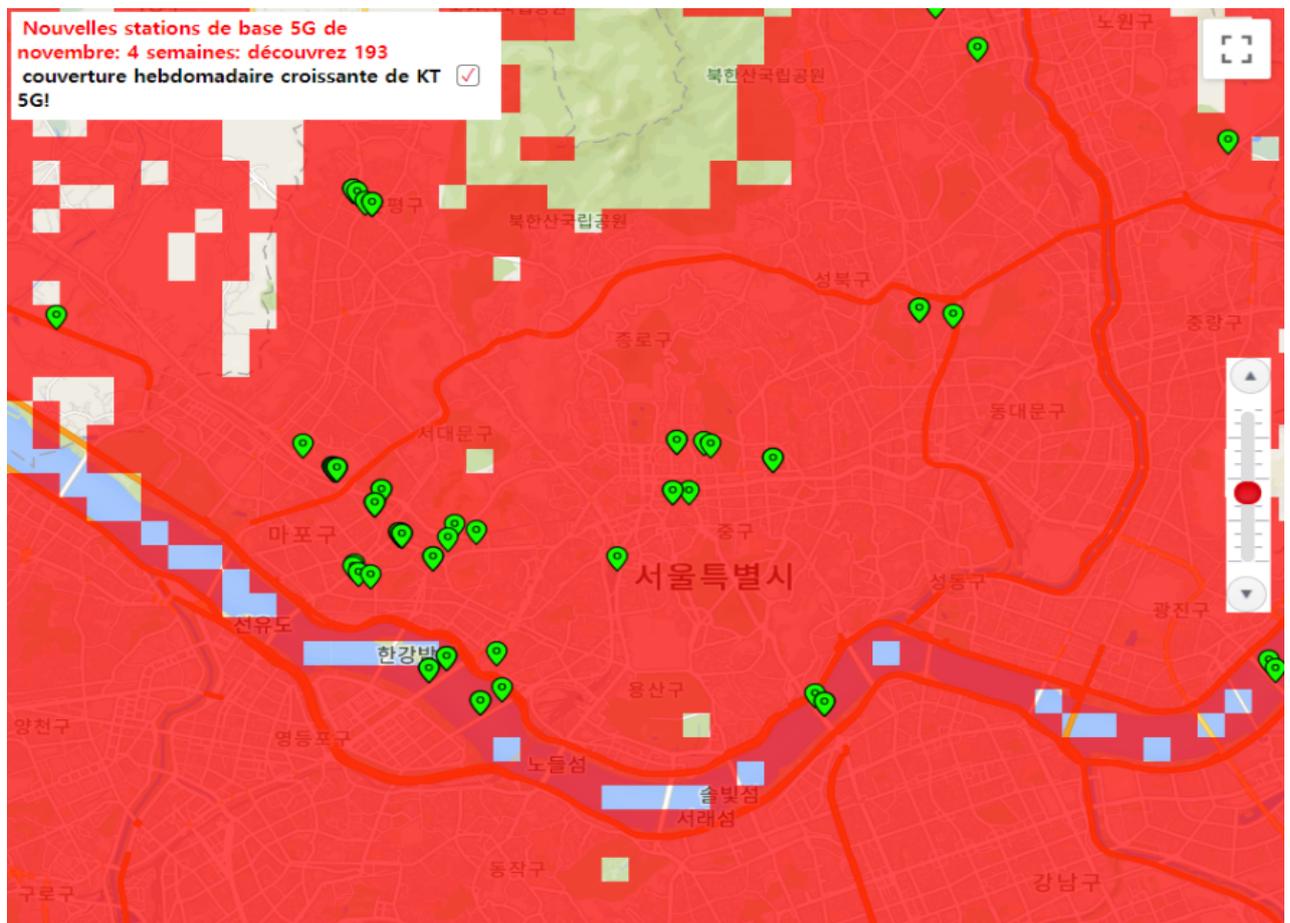


Figure 17 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : KT)

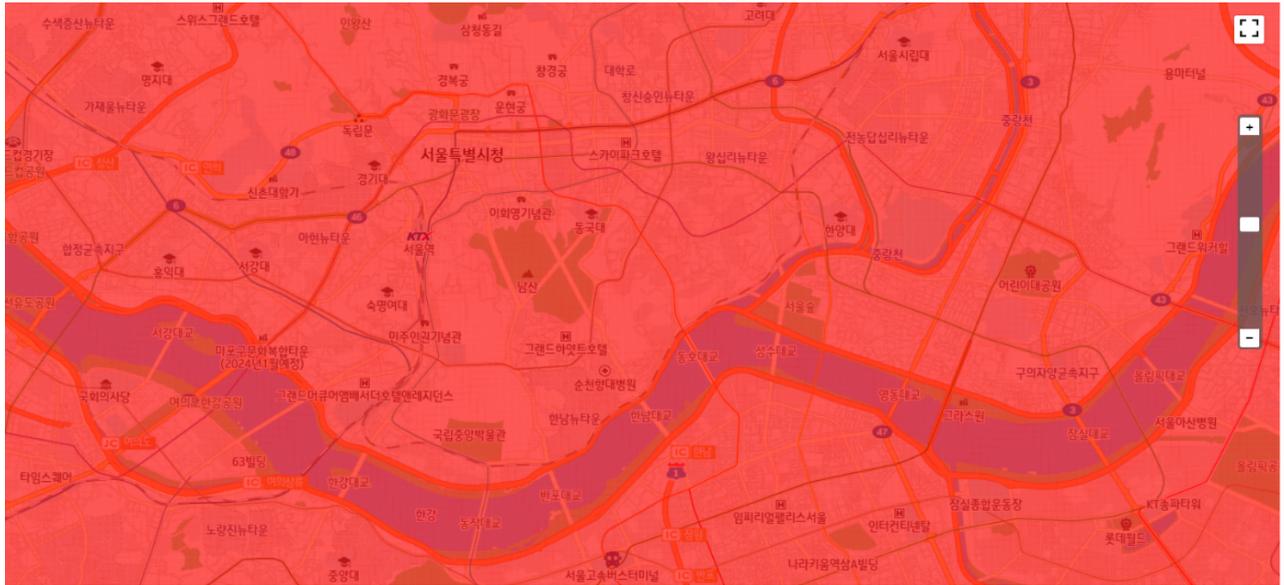


Figure 18 : Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour le centre de l'agglomération de Séoul (Source : KT)

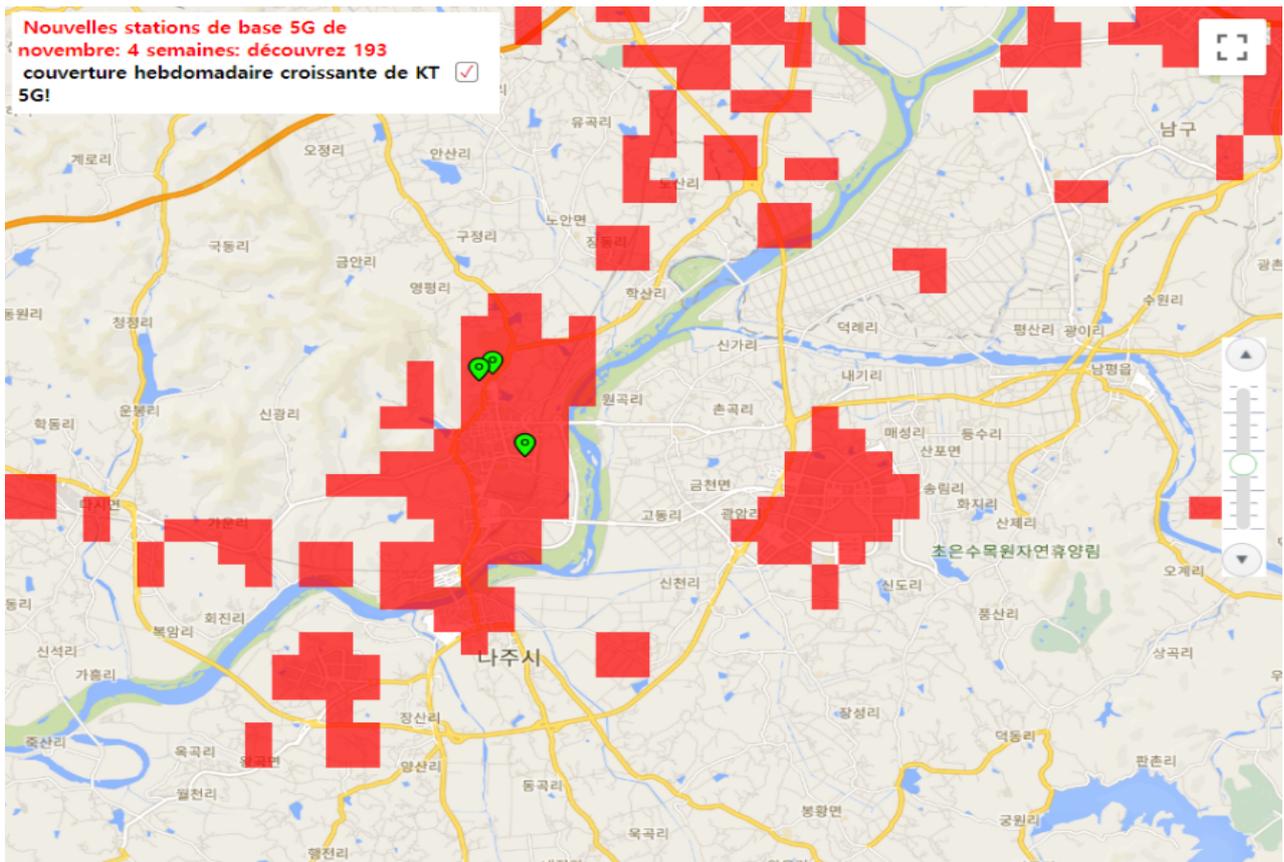


Figure 19 : Données de couverture du réseau 5G au 18 novembre 2019 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju (Source : KT)

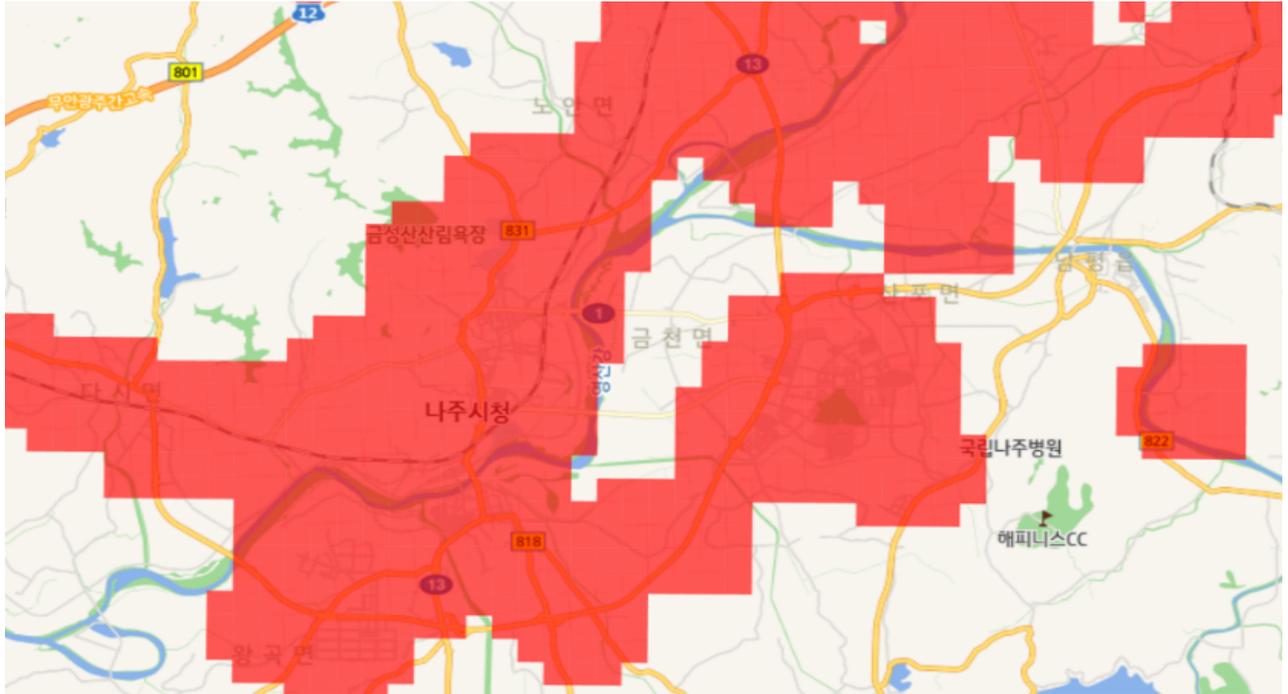


Figure 20 : **Données de couverture du réseau 5G au 13 juillet 2022 pour l'ancienne ville Naju et la nouvelle ville de Naju** (Source : KT)

3.3 Relevés exposimétriques

3.3.1 Zones urbaines

3.3.1.1 Zone cartographiée

La Figure 21 montre les zones cartographiées dans la ville de NAJU.

- **Zone commerciale urbaine**
- **Zone résidentielle urbaine**
- **Zone de divertissement (parc)**

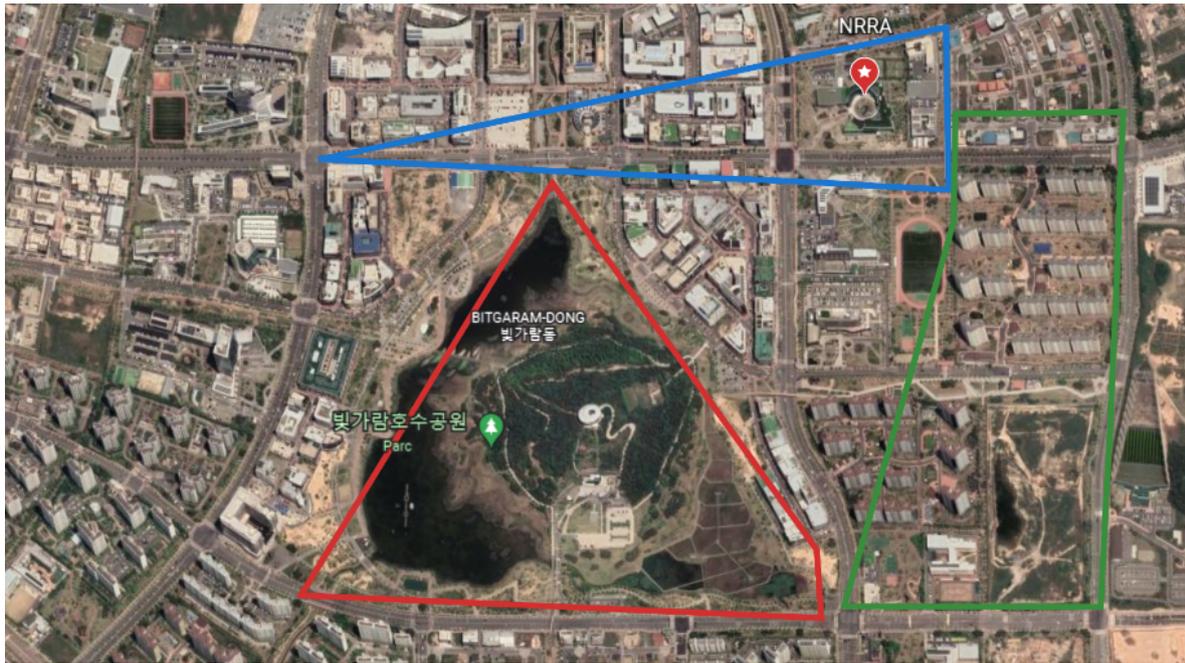


Figure 21 : Zones cartographiées à Naju

3.3.1.2 Relevés pour l'ExpoM-RF

La configuration de l'exposimètre est la suivante :

- La date de l'enregistrement : 08/07/2022
- Le début de l'enregistrement : 18h30
- La fin de l'enregistrement : 20h00

Les principales données de l'exposition 5G-NR sur cette période d'observation sont :

- Un niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) de 39,61 mV/m,
- Un niveau moyen global de tous les services mesurés à 398,55 mV/m,
- Un niveau maximum de la 5G TDD (Low Band) à 266,54 mV/m,
- L'écart type du niveau relevé 5G TDD (Low Band) de 34,98 mV/m.

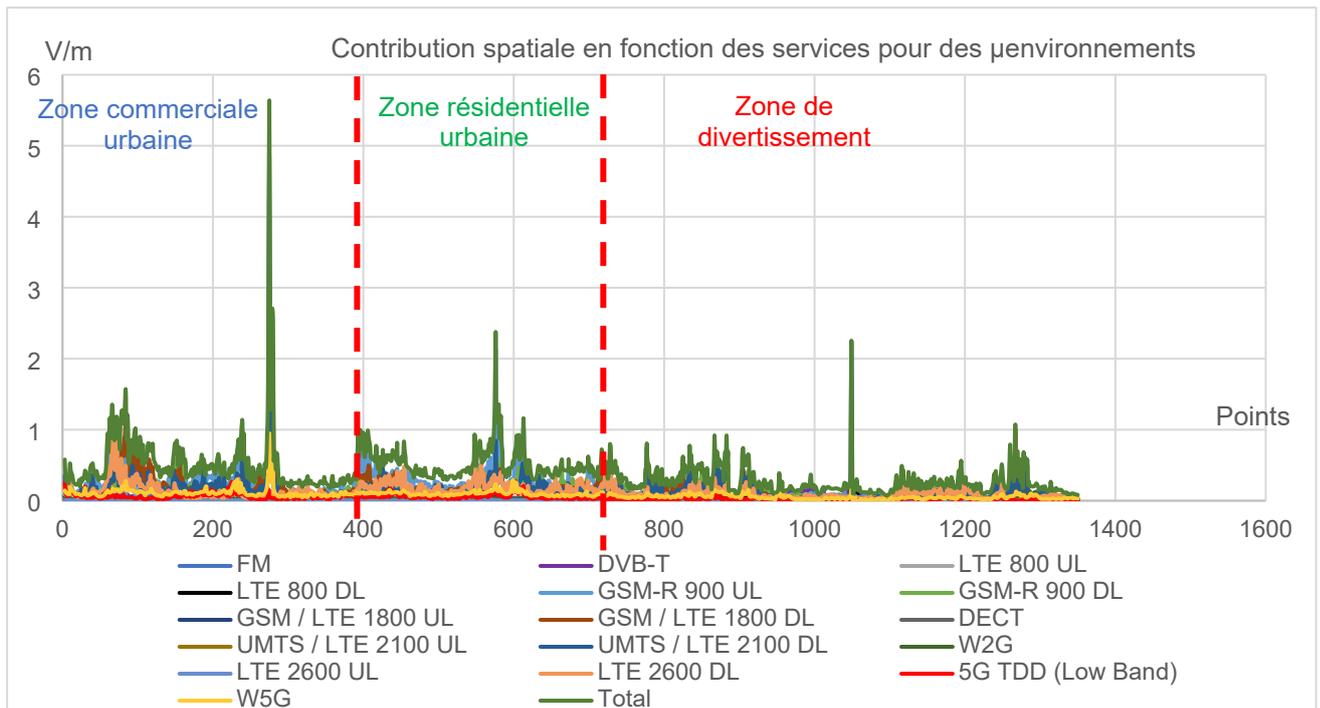


Figure 22 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services

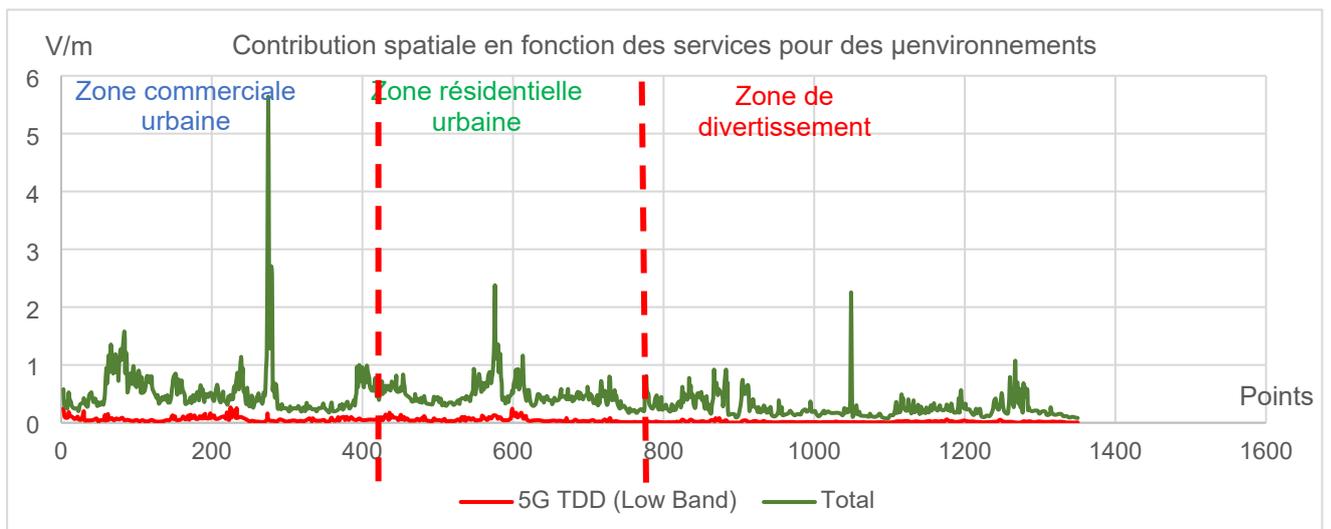


Figure 23 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) au cumul des différents services

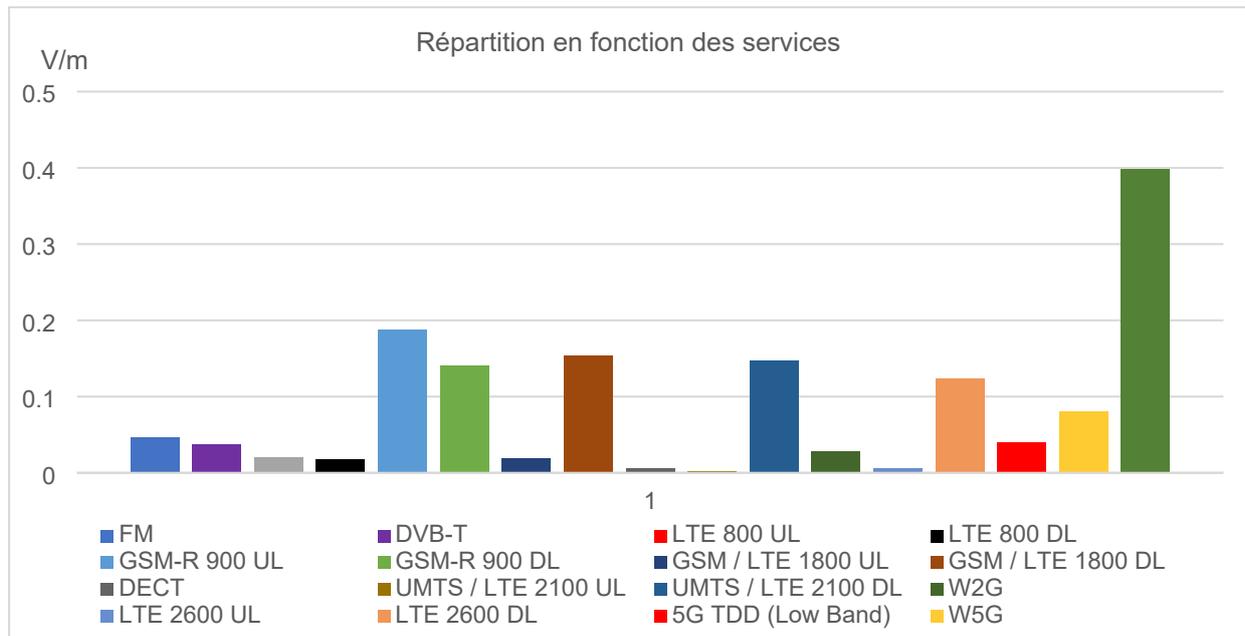


Figure 24 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services

Tableau 6 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne (Naju)

Année de mesure	Niveau global mesuré de tous les services [mV/m]	Niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Niveau Maximum de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Ecart Type de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]
2019	469,1	20,3	258,4	25,2
2022	398,6	39,6	266,5	35,0

Le niveau d'exposition global est réduit de 15%, la contribution de la 5G a doublé, mais reste faible par rapport à l'exposition globale (10%). On note que la zone résidentielle est principalement constituée d'immeubles de haute taille.

3.3.2 Zones urbaines denses

3.3.2.1 Premières zones cartographiées

La Figure 25 montre une partie des zones cartographiées dans la ville de Séoul.

3 quartiers en zone urbaine dense ont été cartographiés :

- Zone résidentielle urbaine dense,
- Zone de divertissement (musées),
- Zone d'affaires urbaine dense.

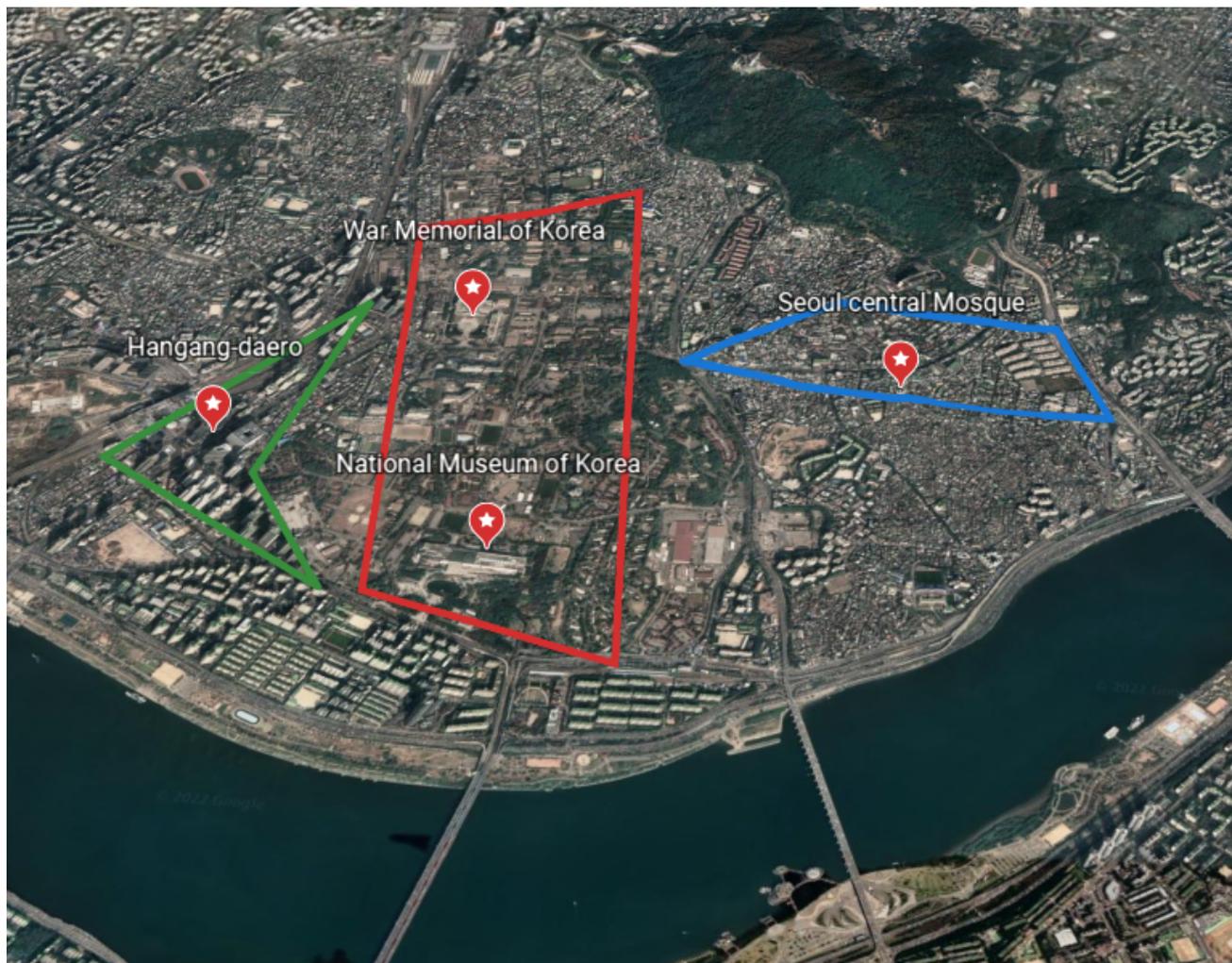


Figure 25 : Zones cartographiées (Séoul quartiers : Yongsan : National museum of Korea, Hangang-daero, War Memorial of Korea, Seoul central Mosque)

3.3.2.2 Premiers relevés pour l'ExpoM-RF

La configuration de l'exposimètre est la suivante :

- La date de l'enregistrement : 11/07/2022
- Le début de l'enregistrement : 09h00
- La fin de l'enregistrement : 16h30
- La fréquence de l'échantillonnage est de 1pt/5s

Les principales données de l'exposition 5G-NR sur cette période d'observation sont :

- Un niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) de 92,25 mV/m,
- Un niveau moyen global de tous les services mesurés à 1158,56 mV/m,
- Un niveau maximum de la 5G TDD (Low Band) à 1123,4mV/m,
- L'écart type du niveau relevé 5G TDD (Low Band) de 94,68V/m.

Le ratio de la 5G par rapport à l'exposition globale est le même à Naju et à Seoul, légèrement inférieur dans ces quartiers (8%).

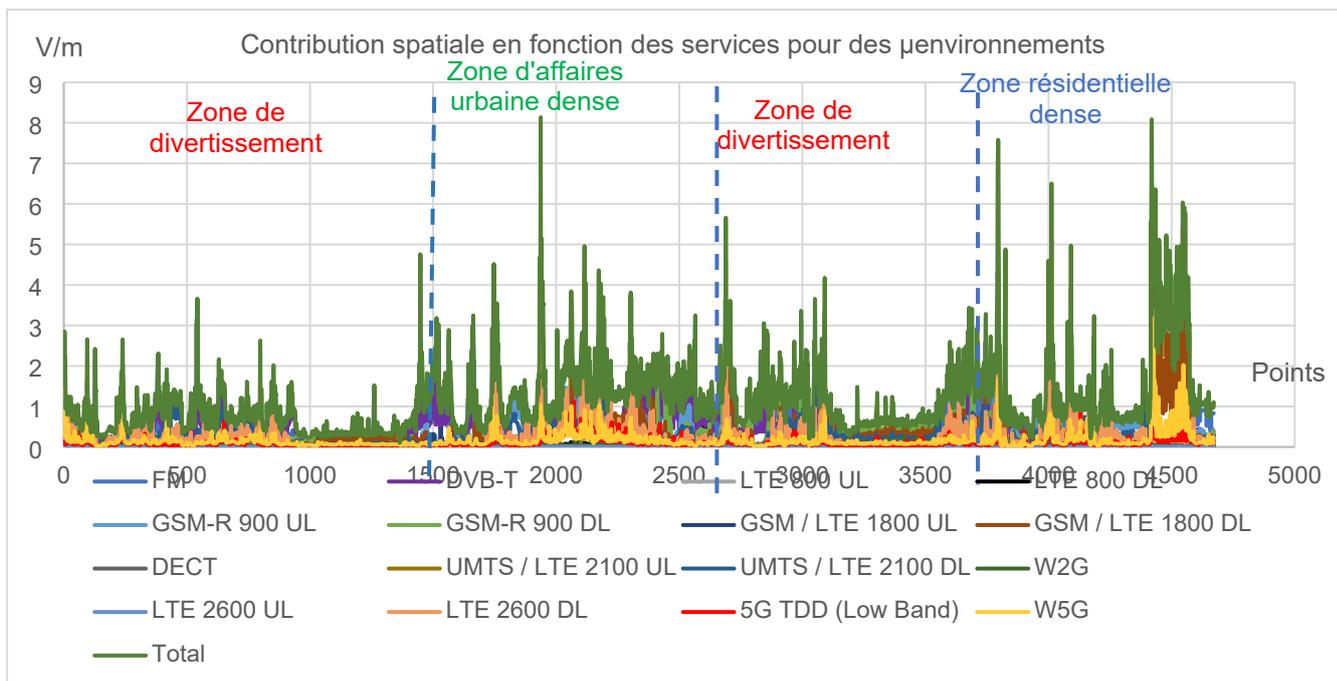


Figure 26 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services

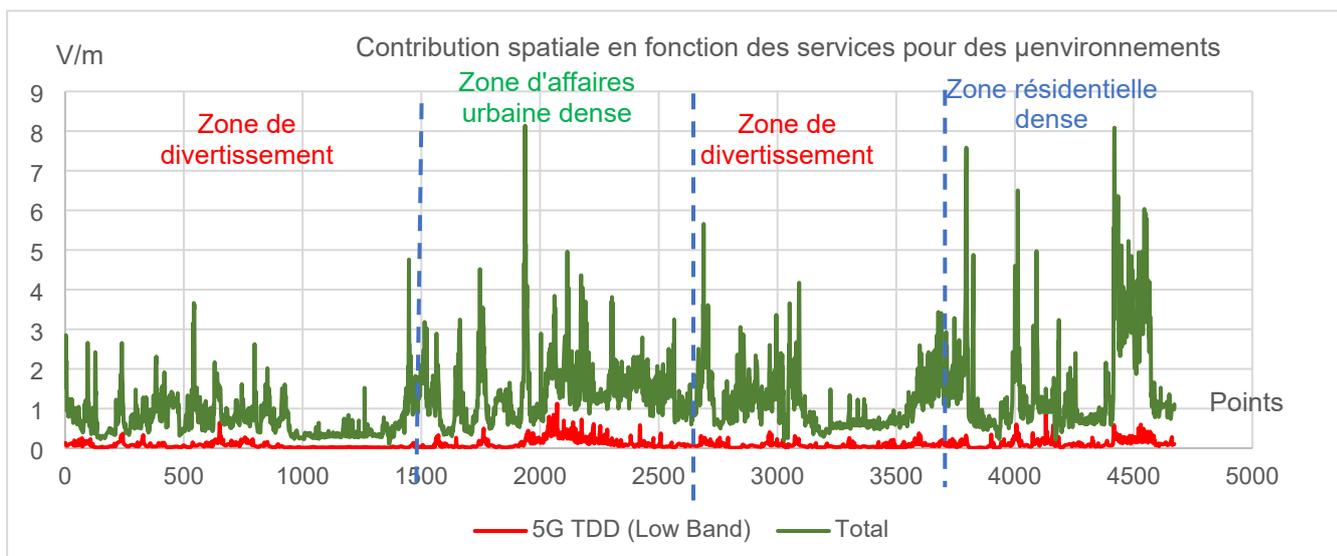


Figure 27 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services

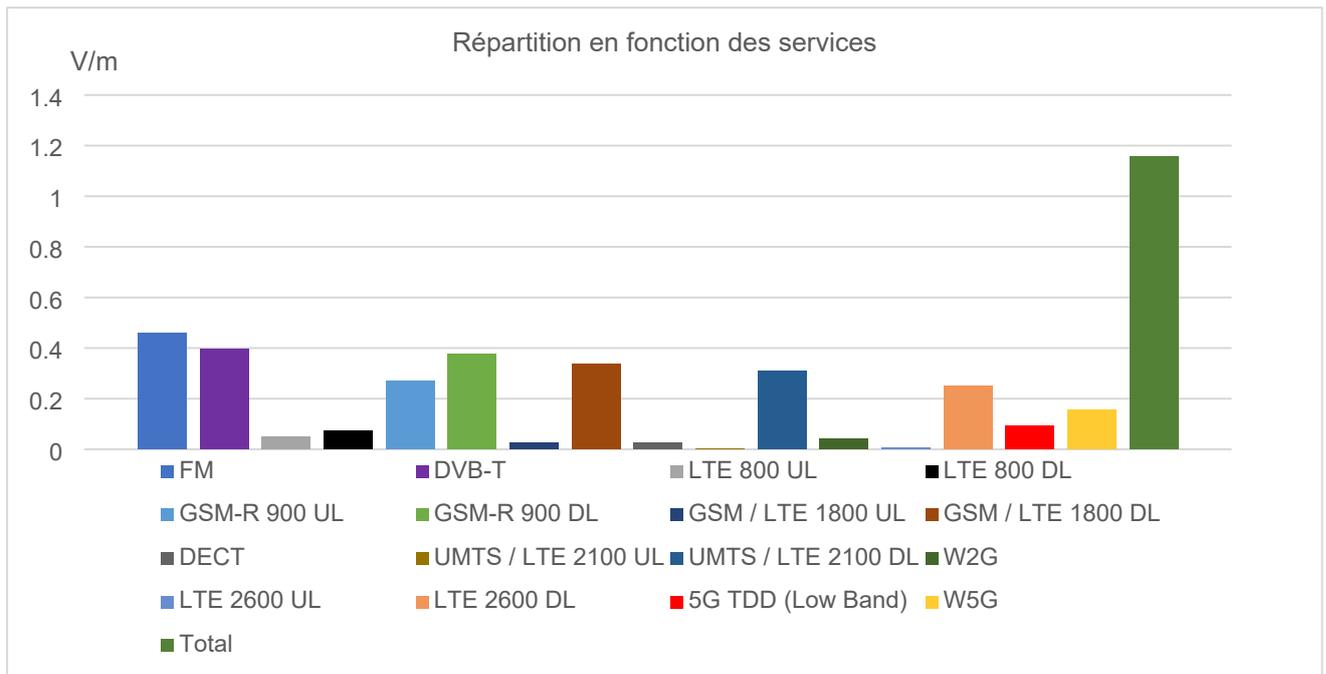


Figure 28 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services

La répartition des services est très similaire à Seoul et à Naju pour les télécommunications cellulaires. S'y rajoute une contribution comparable de la radio FM et de la télévision numérique DVB-T qui était bien moins marquée à Naju.

3.3.2.3 Deuxième série de zones cartographiées

Trois types de quartiers en zone urbaine dense ont été cartographiés pour répliquer les mesures. Ceux-ci sont mis en évidence sur la Figure 29.

- **Zone commerciale urbaine dense,**
- **Zone de divertissement,**
- **Zone d'affaires urbaine dense**

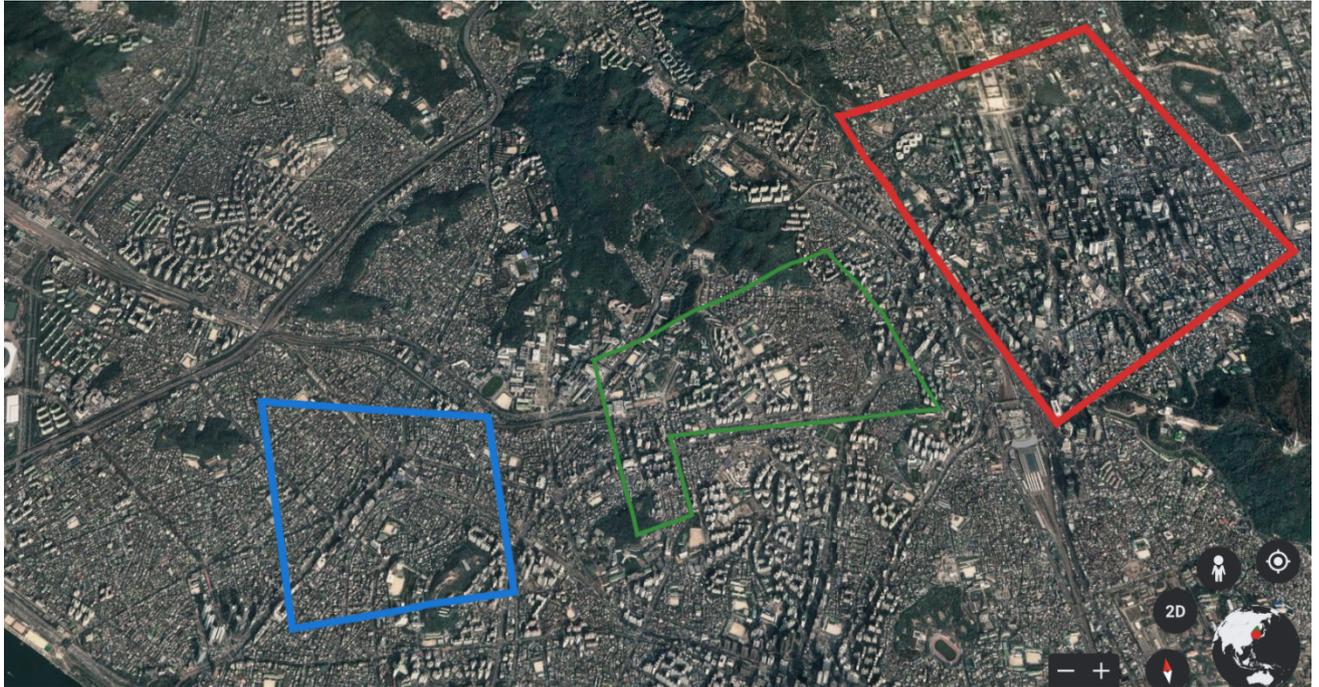


Figure 29: **Zones cartographiées (Seoul Museum of History, Sinchon-ro, Hongdae)**

3.3.2.4 Deuxième série de relevés pour l'ExpoM-RF

La configuration de l'exposimètre est la suivante :

- La date de l'enregistrement : 12/07/2022
- Le début de l'enregistrement : 09h00
- La fin de l'enregistrement : 16h30
- La fréquence de l'échantillonnage est de 1pt/5s

Les principales données de l'exposition 5G-NR sur cette période d'observation sont :

- Un niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) à 176,99mV/m,
- Un niveau moyen global de tous les services mesurés à 1490,6 mV/m,
- Un niveau maximum de la 5G TDD (Low Band) à 6469,3 mV/m,
- L'écart type du niveau relevé 5G TDD (Low Band) de 201,2 V/m.

Le niveau est un plus élevé que dans les zones précédentes, et le ratio 5G/exposition globale est légèrement plus important (12% au lieu de 8%). On note un niveau maximum élevé par rapport à l'exposition globale (x4,3), ce qui n'était pas le cas des mesures présentées antérieurement.

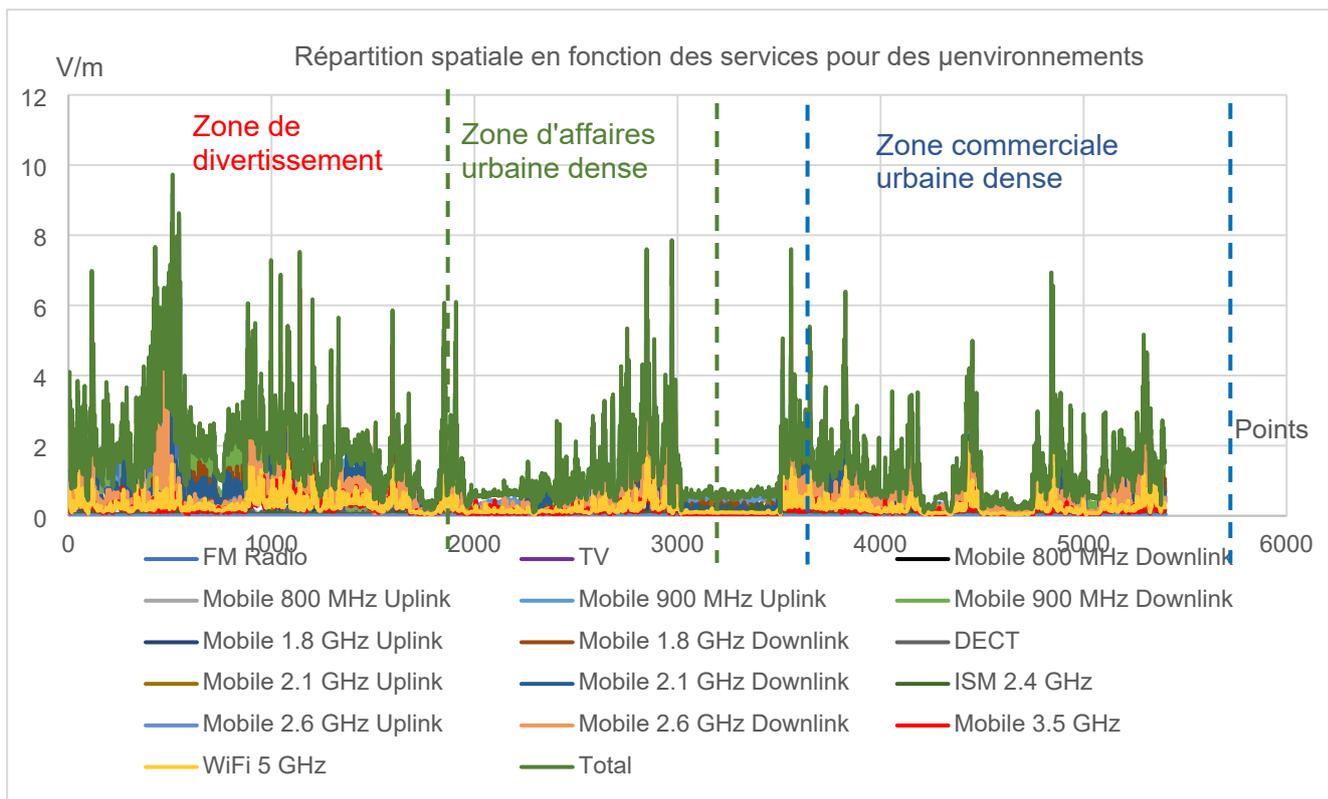


Figure 30 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services

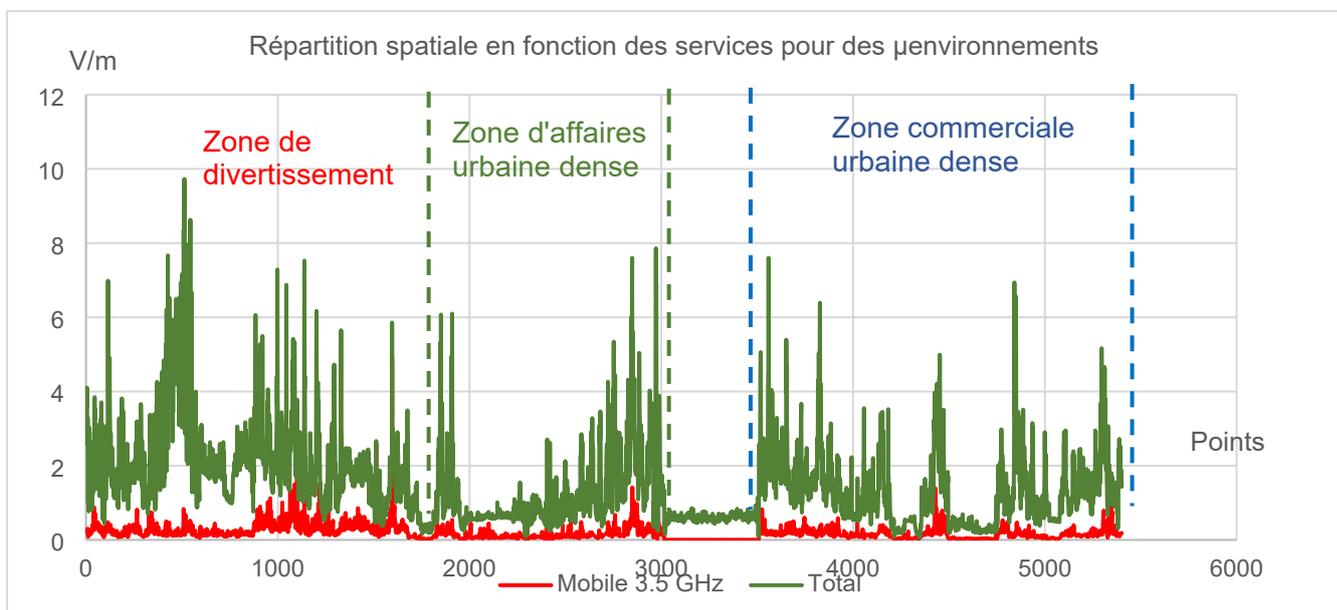


Figure 31 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services

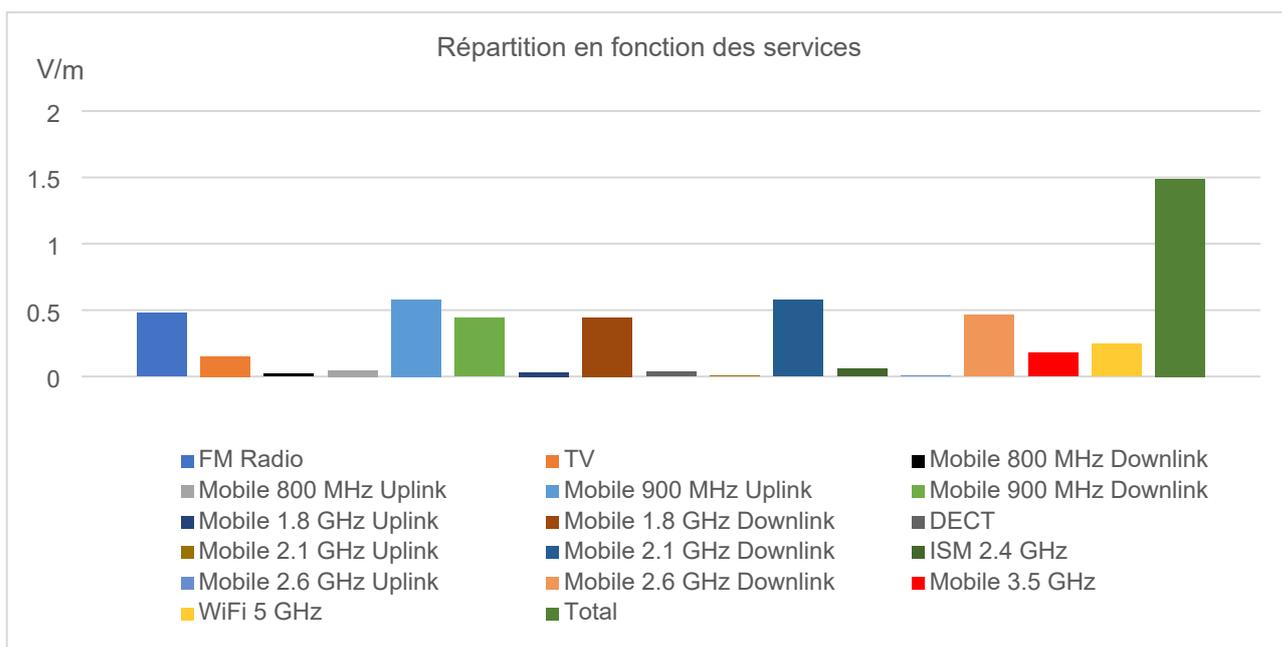


Figure 32 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services

Tableau 7 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne

Année de mesure	Niveau global mesuré de tous les services [mV/m]	Niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Niveau Maximum de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Ecart Type de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]
2019	1846,6	139,8	2135,6	157,8
2022	1324,6	134,6	6469,3	-

3.3.3 A proximité d'une station 5G

3.3.3.1 Zones cartographiées

Ces relevés ont été effectués à NAJU, sur le toit d'un bâtiment localisé face au site de NRRA.

3 positions ont été repérées :

- Sur le toit équipé de stations 5G,
- Dans le lobe principal de l'antenne 5G,
- Dans un bâtiment à proximité (NRRA).



Figure 33 : Zones repérées à proximité de la station de base

3.3.3.2 Relevés pour l'ExpoM-RF

La configuration de l'exposimètre est la suivante :

- La date de l'enregistrement : 08/07/2022
- Le début de l'enregistrement : 14h00
- La fin de l'enregistrement : 16h17
- La fréquence d'échantillonnage est de 1pt/4s

Les principales données de l'exposition 5G-NR sur cette période d'observation sont :

- Un niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) à 2056 mV/m,
- Un niveau moyen global de tous les services mesurés à 7265 mV/m,
- Un niveau maximum de la 5G TDD (Low Band) à 7688 mV/m,
- L'écart type du niveau relevé 5G TDD (Low Band) de 3076 mV/m.

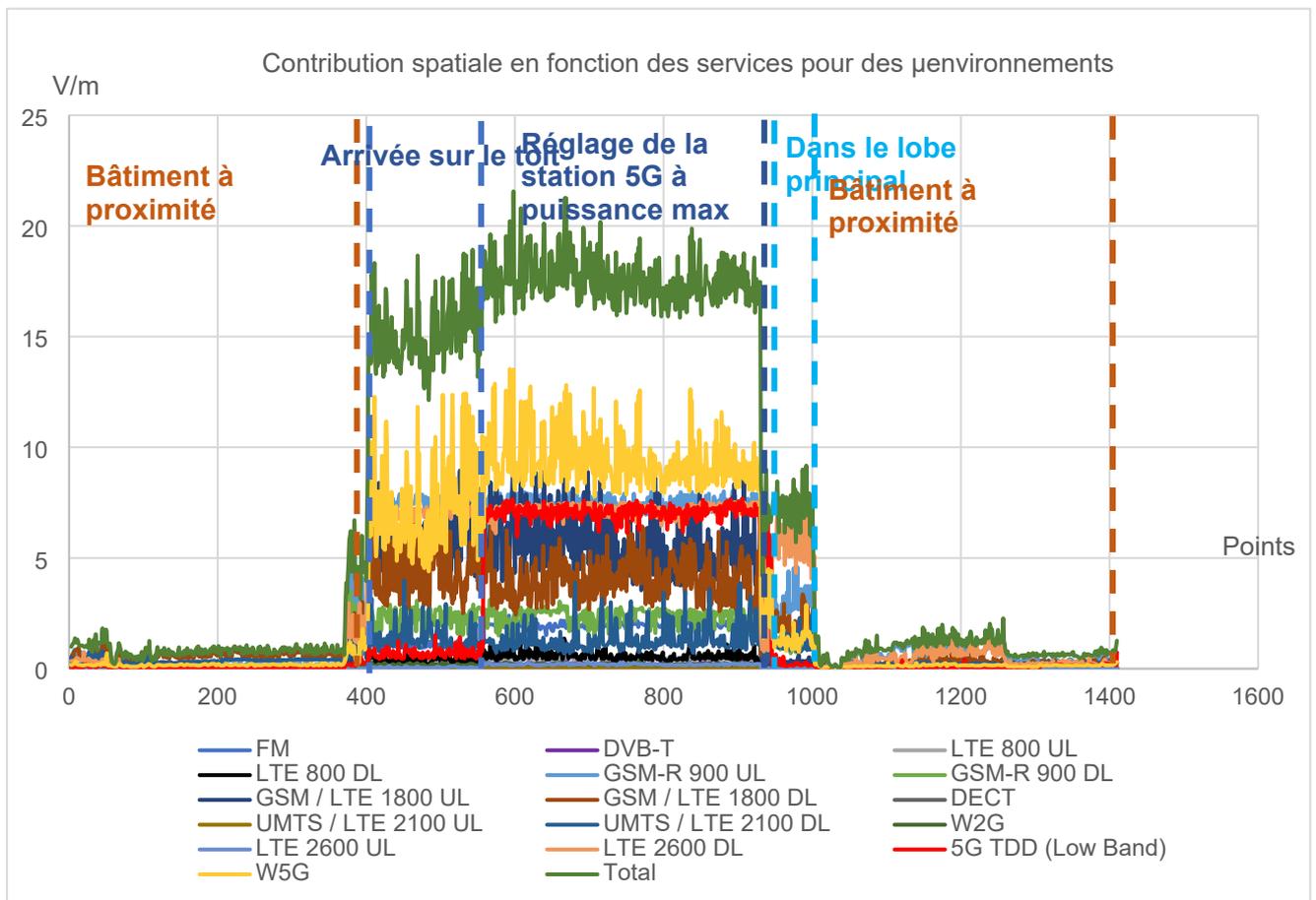


Figure 34 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services

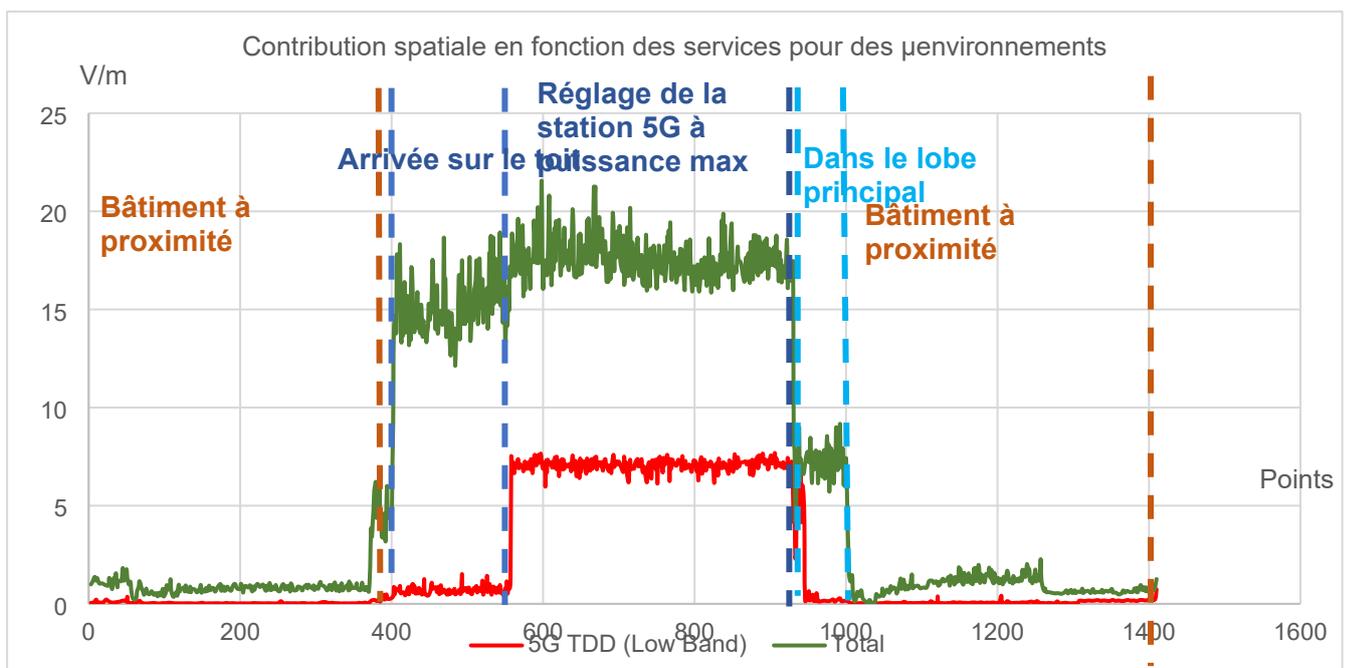


Figure 35 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services

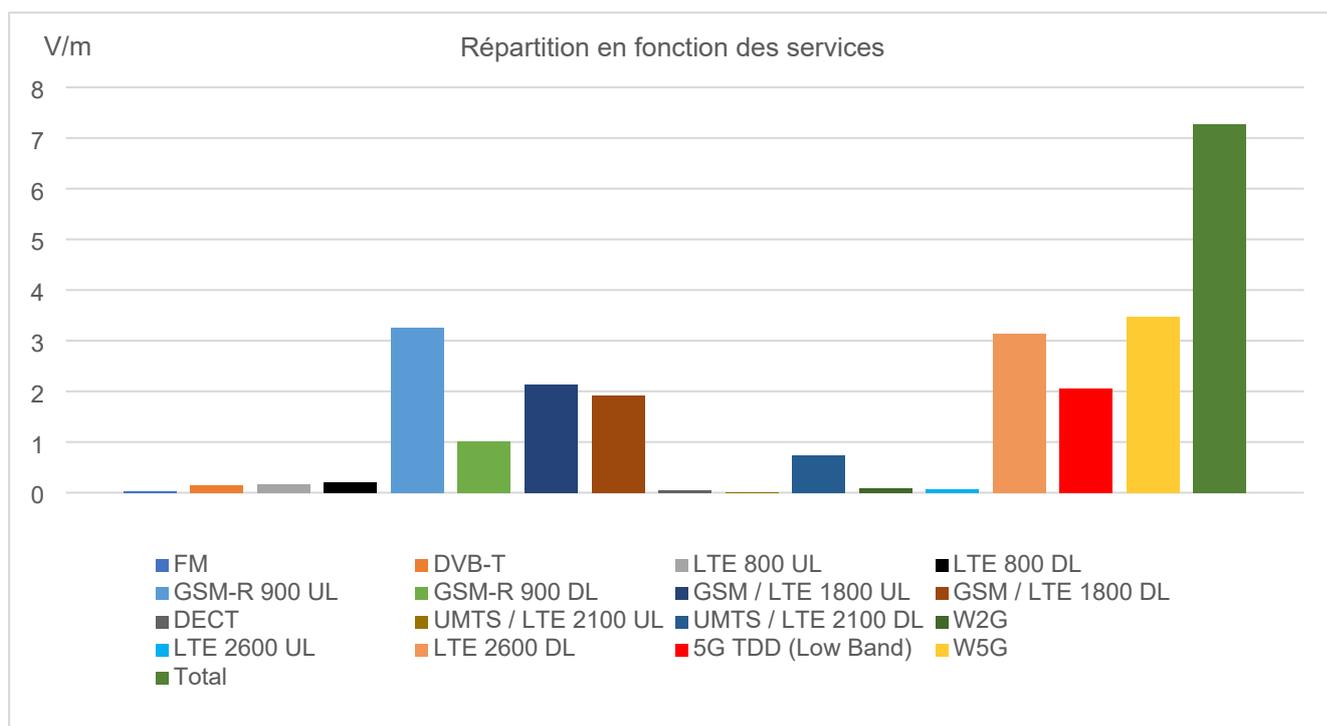


Figure 36 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services

Tableau 8 : Comparaison des résultats de mesure des campagnes 2019 et 2022

Année de mesure	Niveau moyen global mesuré de tous les services [mV/m]	Niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Niveau Maximum de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Ecart Type de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]
2019	1037,4	561,4	2576,2	669,7
2022	7265,2	2055,9	7688,5	3075,6

Comme il est possible de l'observer dans les Figure 35 et Figure 36, le niveau d'exposition total est plus important sur le toit, à proximité des antennes de plusieurs services de communication dont la 5G et la LTE (Long Term Evolution). Le niveau global est multiplié par 7, tandis que celui de la 5G est multiplié par 4. On remarque que la contribution de la LTE 2600 DL (2 600 MHz, Downlink) est importante et elle exerce une influence marquante sur le niveau total de tous les services, mais aussi le WiFi 5G. De plus l'importance des communications montantes UL à 900 et 1800 MHz fait suspecter la proximité de téléphones portables en émission.

Les valeurs sur le toit n'ont pas été répliquées entre les campagnes 2019 et 2022 du fait de différences dans la méthode des mesures.

La valeur du niveau maximum mesuré en 2019 dans la bande 5G de 2,6 V/m a été obtenue avec le dosimètre à plusieurs mètres des antennes.

La valeur du niveau maximum mesuré en 2022 dans la bande 5G de 7,7 V/m a été obtenue avec le dosimètre à 20 cm des antennes.

3.3.4 Trajet en semaine (aller Séoul – Naju) sur un trajet en zones rurale, urbaine et urbaine dense dans un train à grande vitesse

Une évaluation de la variabilité de l'exposition 5G a été réalisée sur une liaison ferroviaire Naju - Séoul. Le trajet ciblé comprend des portions classiques et des portions à grande vitesse.

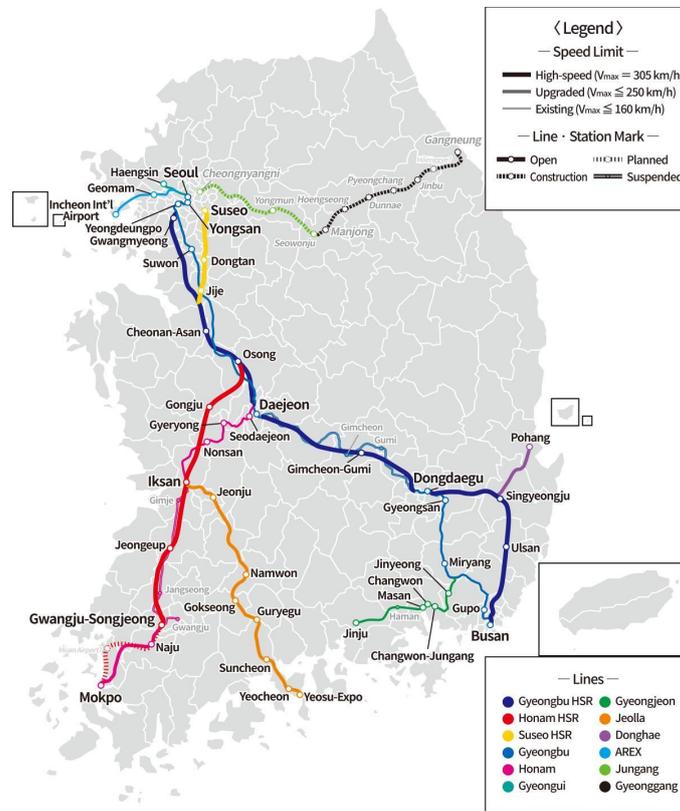


Figure 37 : Liaison ferroviaire empruntée Naju – Seoul (Source : KTX)

- Relevés pour l'ExpoM-RF :

La configuration de l'exposimètre est la suivante :

- La date de l'enregistrement : vendredi 08/07/2022
- Le début de l'enregistrement : 10h34
- La fin de l'enregistrement : 12h35
- La fréquence d'échantillonnage est de 1pt/4s

Les principales données de l'exposition 5G-NR sur cette période d'observation sont :

- Un niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) à 147,16 mV/m,
- Un niveau moyen global de tous les services mesurés à 1126,29mV/m,
- Un niveau maximum de la 5G TDD (Low Band) à 1227,91 mV/m,
- L'écart type du niveau 5G TDD (Low Band) de 115,25 mV/m

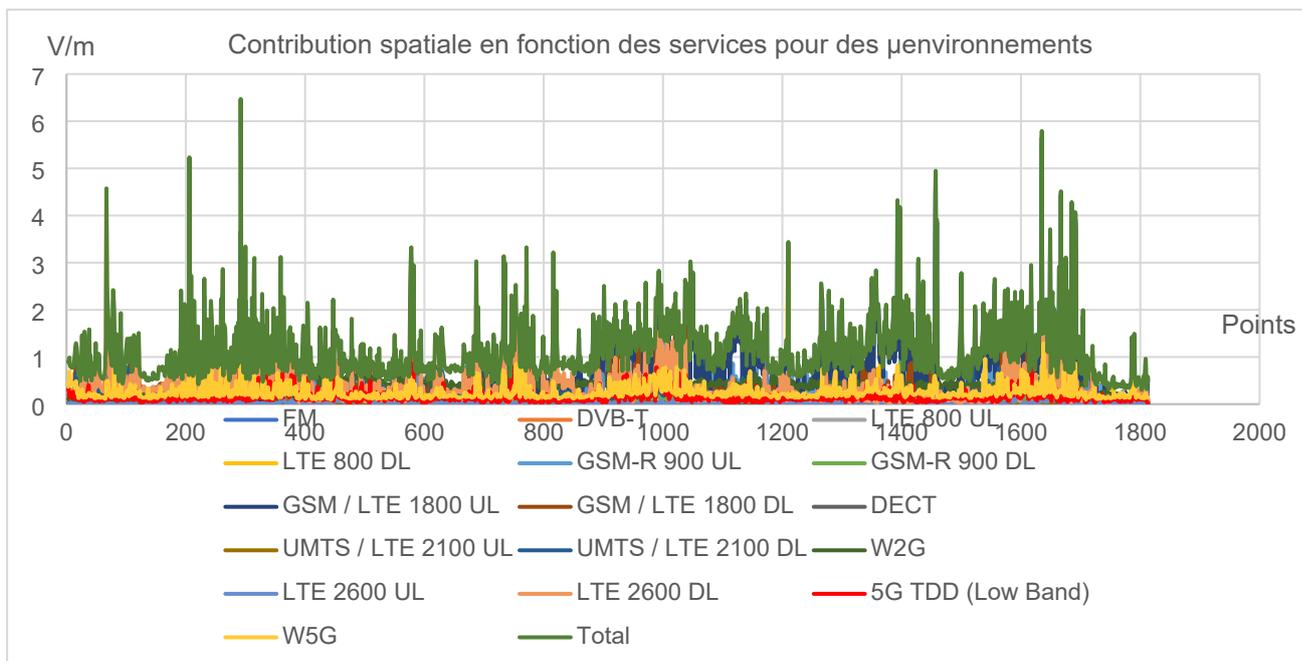


Figure 38 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services

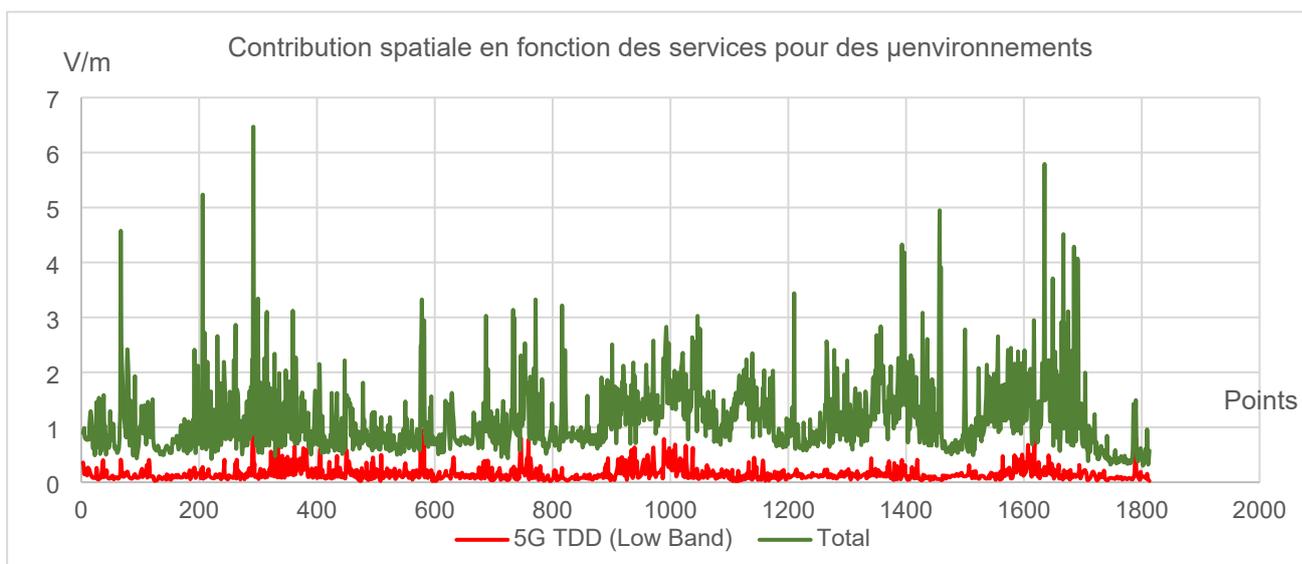


Figure 39 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services

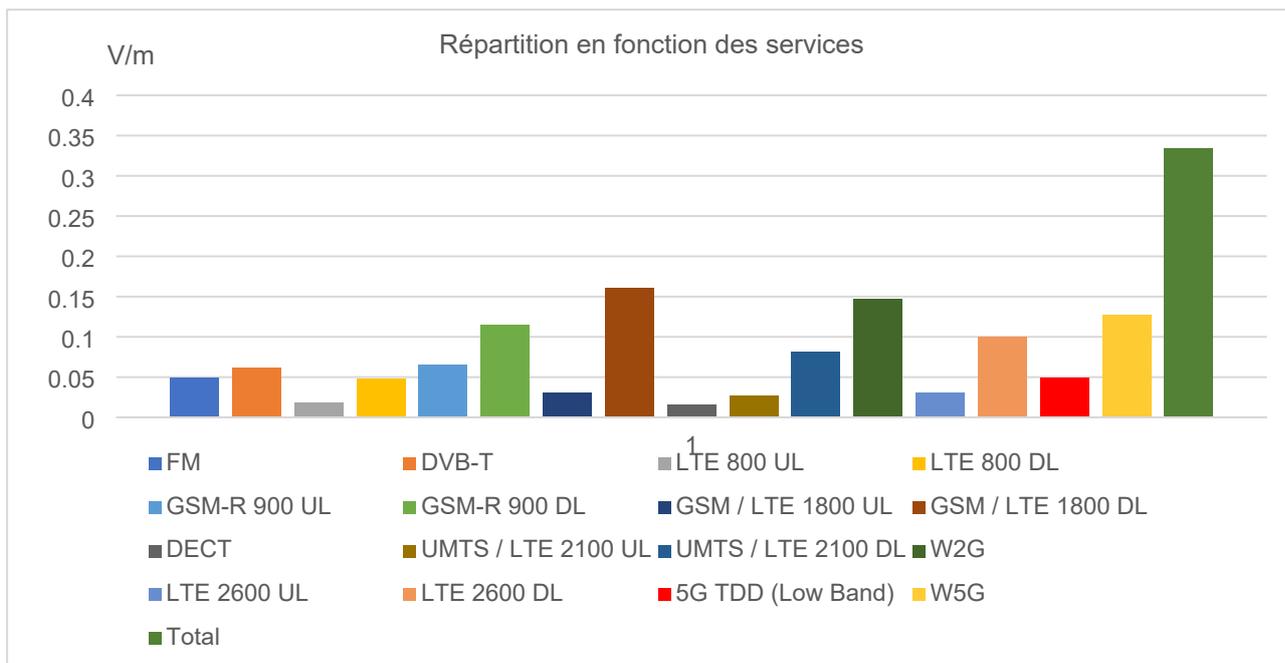


Figure 40 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services

Tableau 9 : Comparaison des résultats de mesure des campagnes 2019 et 2022

Année de mesure	Niveau global mesuré de tous les services [mV/m]	Niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Niveau Maximum de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Ecart Type de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]
2019	415,3	22,9	396,3	-
2022	1126,3	147,2	1227,9	115,3

3.3.5 Trajet le week-end (retour Naju – Seoul) sur un trajet en zones rurale, urbaine et urbaine dense dans un train à grande vitesse

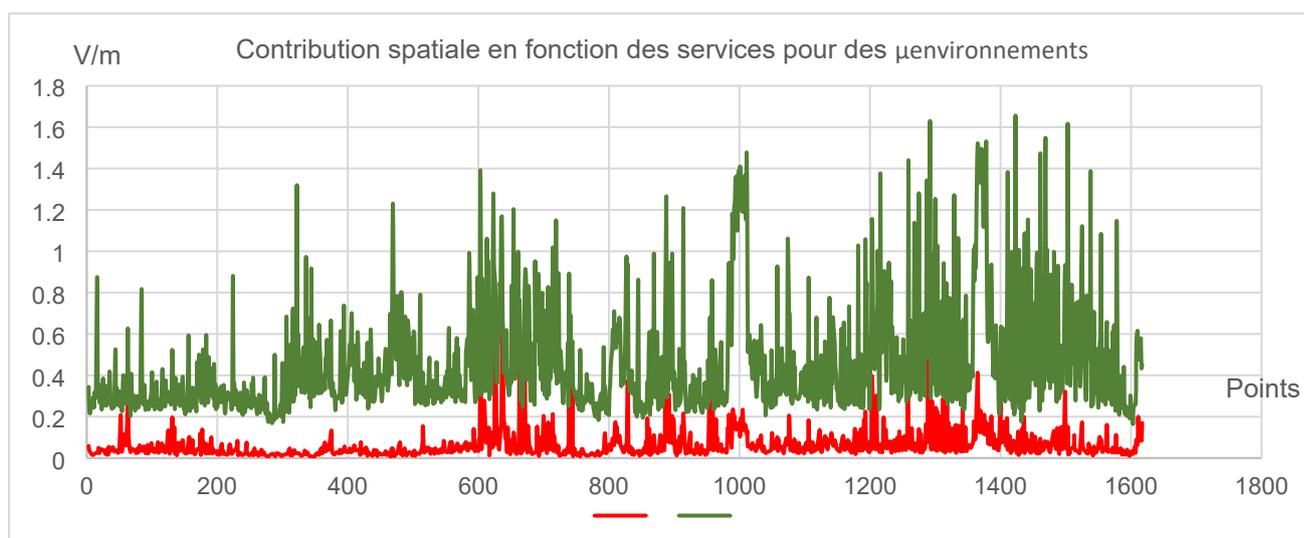
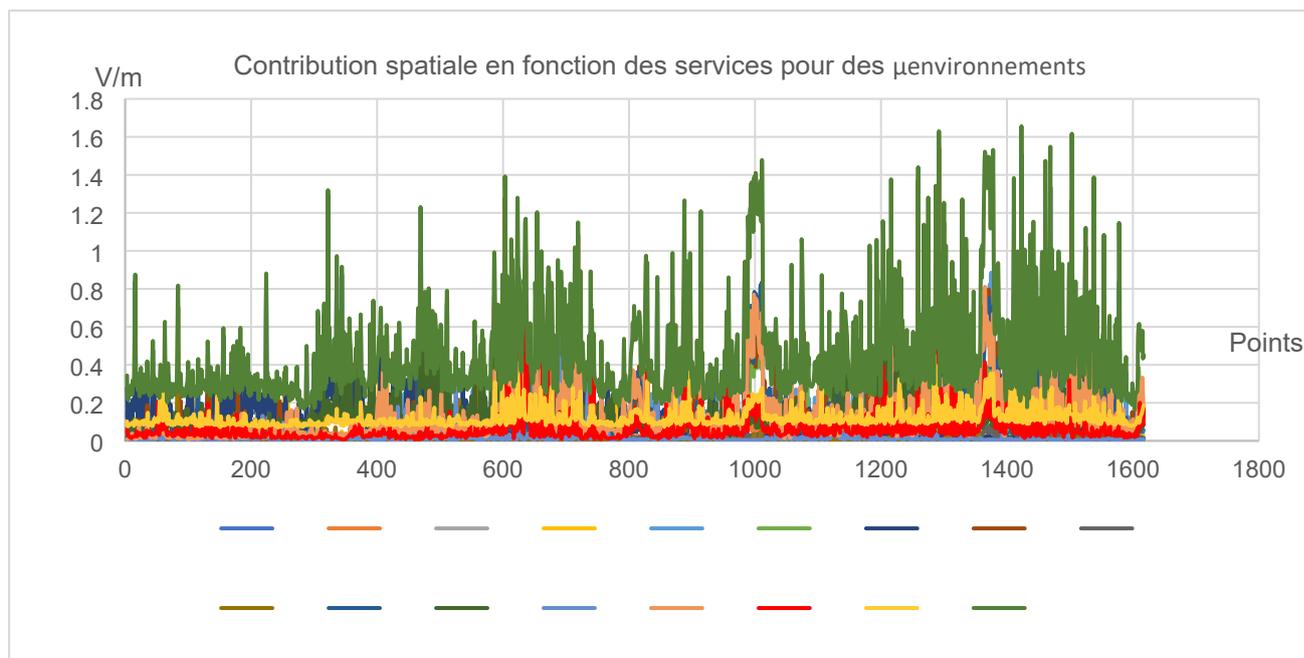
- Relevés pour l'ExpoM-RF :

La configuration de l'exposimètre est la suivante :

- La date de l'enregistrement : samedi 09/07/2022
- Le début de l'enregistrement : 09h12
- La fin de l'enregistrement : 11h00
- La fréquence d'échantillonnage est de 1pt/4s

Les principales données de l'exposition 5G-NR sur cette période d'observation sont :

- Un niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) à 59,95mV/m,
- Un niveau moyen global de tous les services mesurés à 454,92mV/m,
- Un niveau maximum de la 5G TDD (Low Band) à 710,46mV/m,
- L'écart type du niveau 5G TDD (Low Band) de 62,20mV/m



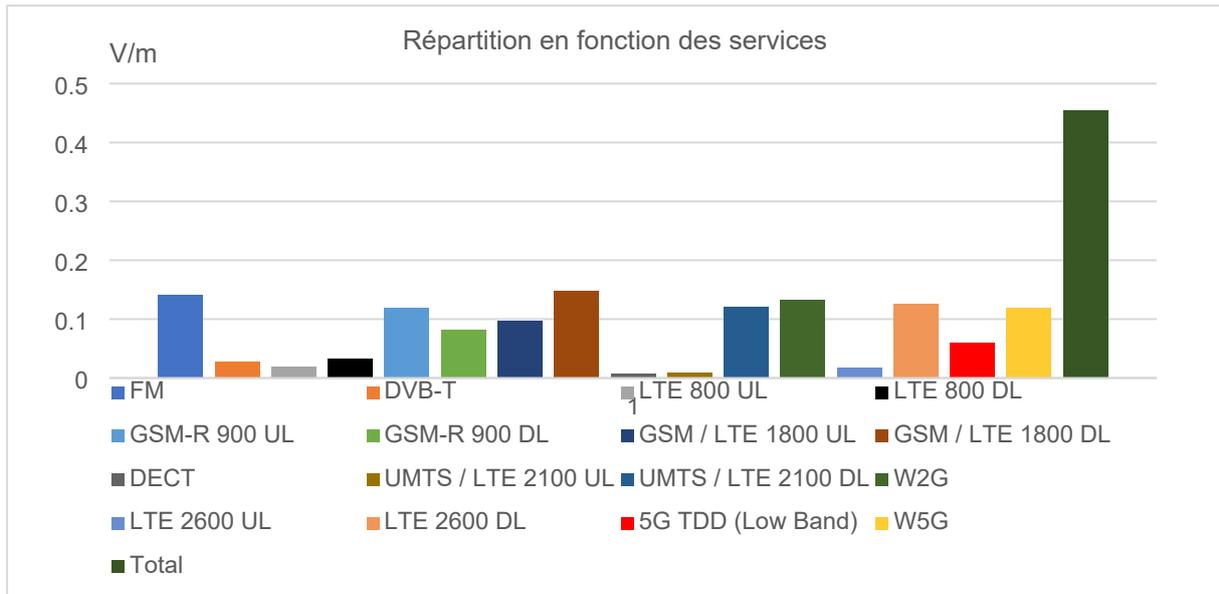


Figure 43 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services

Tableau 10 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne

Année de mesure	Niveau global mesuré de tous les services [mV/m]	Niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Niveau Maximum de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Ecart Type de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]
2019	373,0	16,1	732,3	33,5
2022	454,9	60,0	710,5	62,2

Le niveau de champ est plus élevé sur le trajet réalisé le vendredi (trajet aller) par rapport au trajet réalisé le samedi (trajet retour) sur des horaires comparables.

Dans les deux cas, la 5G constitue une faible fraction de l'exposition globale (12,5%), mais les niveaux maximums de 5G sont proches de la moyenne globale.

Le niveau de champ global du retour a peu changé entre 2019 et 2022, mais a nettement augmenté sur le trajet aller. Il a été multiplié par 3. Cependant, le niveau de 5G a augmenté fortement sur le trajet aller (x7) et moins sur le trajet retour (x4).

3.3.6 Trajet en zone urbaine dense (en voiture dans Séoul) le dimanche

Une évaluation de la variabilité de l'exposition 5G a été réalisée sur des voies urbaines de Séoul. Le trajet emprunté est montré dans la figure ci-dessous :

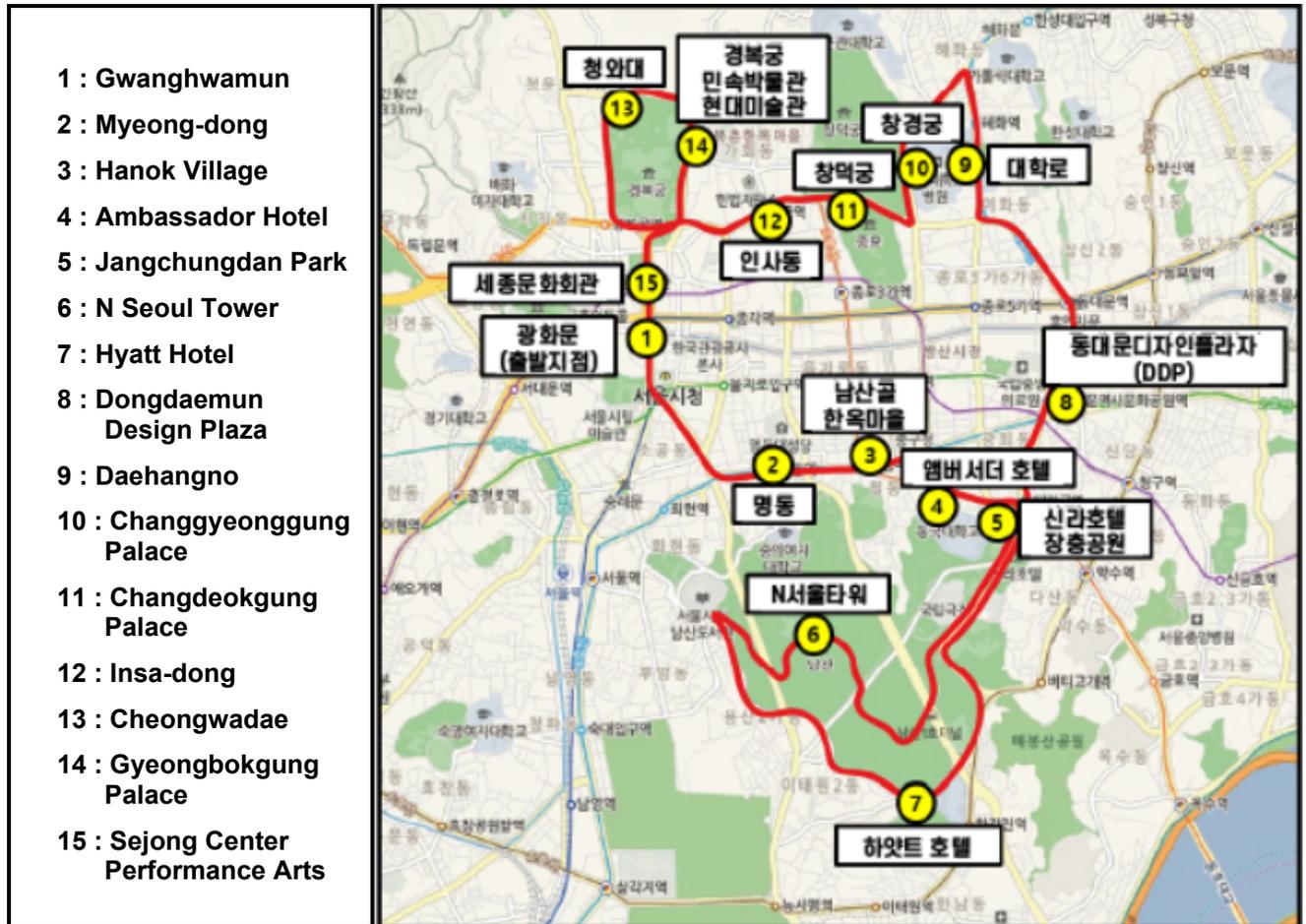


Figure 44 : Trajet emprunté dans l'agglomération de Séoul (Source : Seoulcitybus)

- Relevés pour l'ExpoM-RF :

La configuration de l'exposimètre est la suivante :

- La date de l'enregistrement : dimanche 10/07/2022
- Le début de l'enregistrement : 10h00
- La fin de l'enregistrement : 18h00
- La fréquence d'échantillonnage est de 1pt/5s

Les principales données de l'exposition 5G-NR sur cette période d'observation sont :

- Le niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) de 113,89mV/m,
- Un niveau moyen global de tous les services mesurés à 1497,56mV/m,
- Un niveau maximum de la 5G TDD (Low Band) de 1516,22mV/m,
- L'écart type du niveau relevé 5G TDD (Low Band) à 102,74mV/m

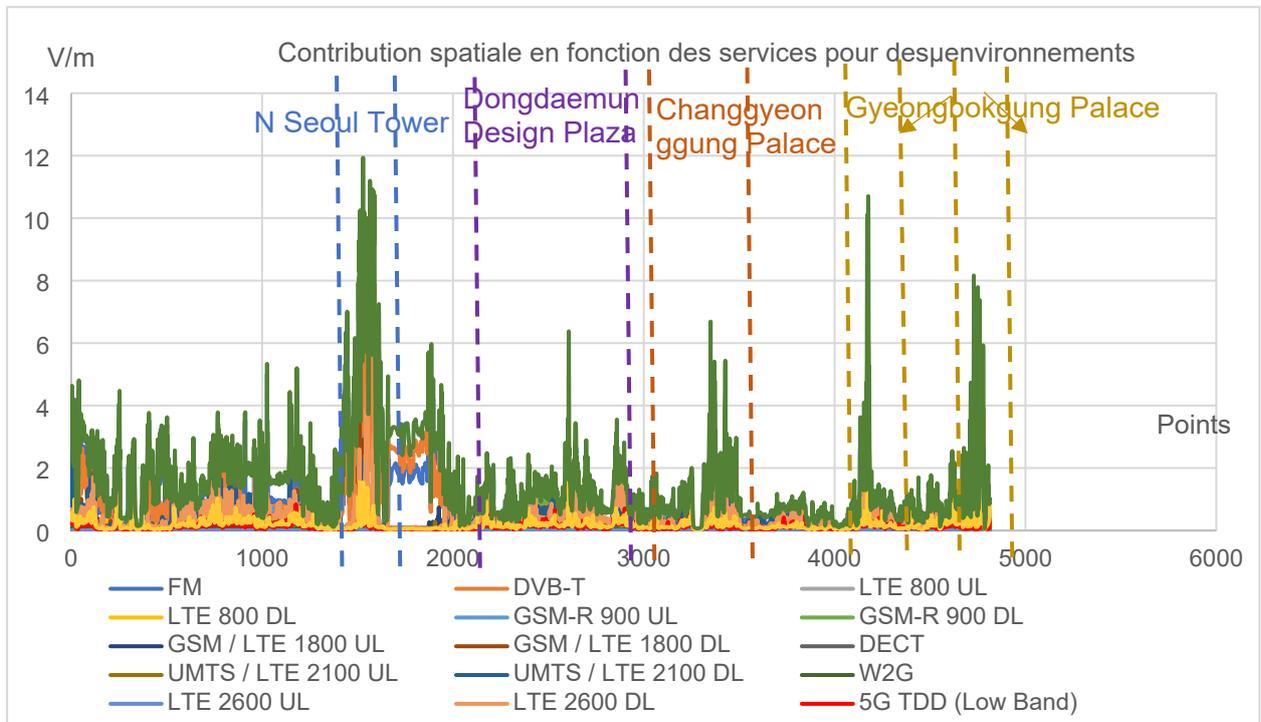


Figure 45 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services

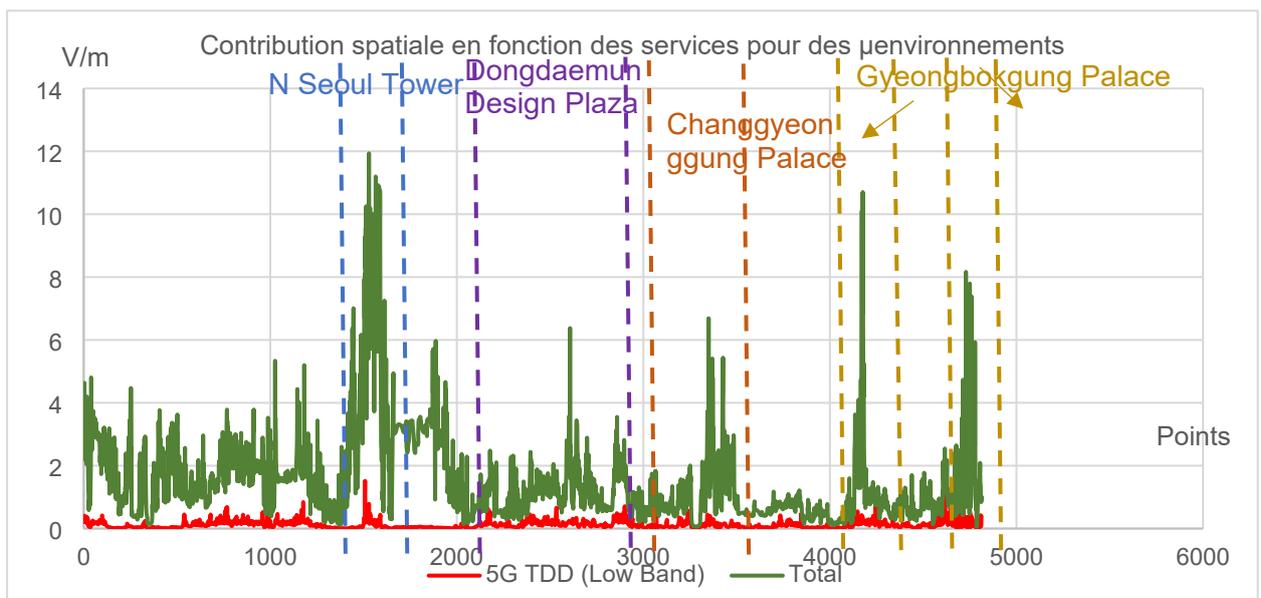


Figure 46 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services

Le niveau de champ près de la N Seoul Tower est nettement plus élevé qu'ailleurs dans la ville. On voit à proximité une contribution particulière de la radio FM et de la TV. On observe un pic très localisé d'émission 5G, inférieur à 2 V/m.

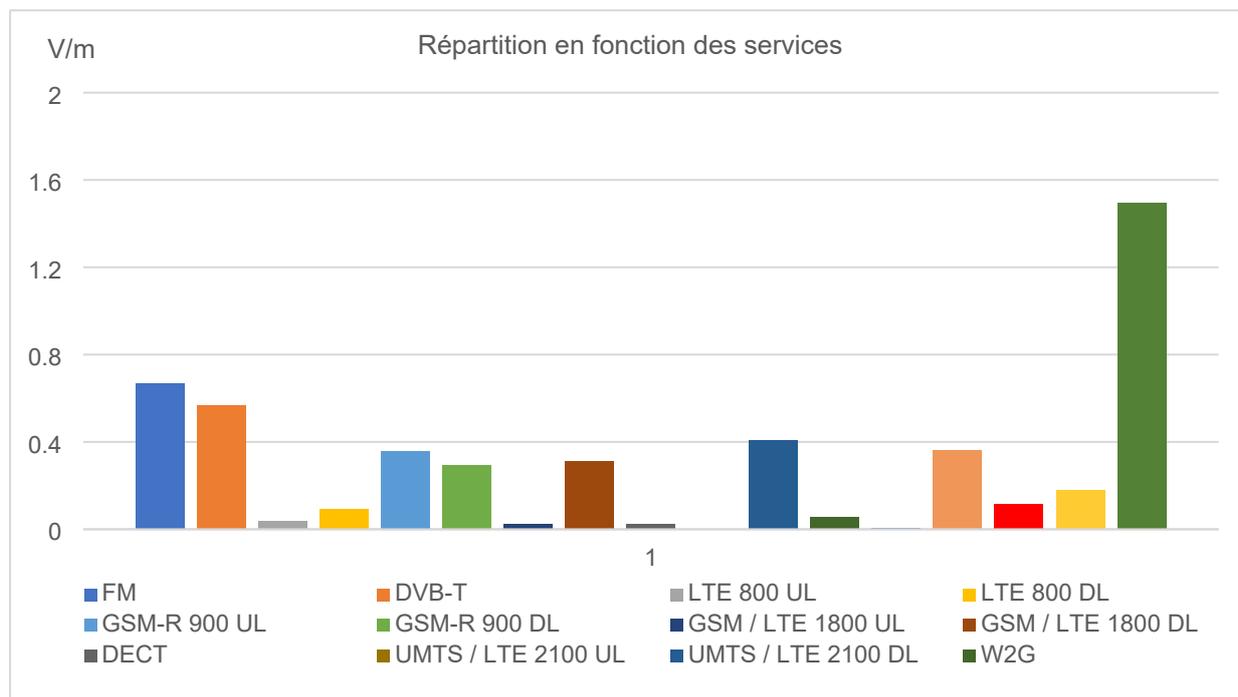


Figure 47 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services

Tableau 11 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne

Année de mesure	Niveau global mesuré de tous les services [mV/m]	Niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Niveau Maximum de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Ecart Type de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]
2019	805,4	47,6	1547,5	62,1
2022	1497,56	113,89	1516,22	102,74

Sur un trajet en zone urbaine dense, l'exposition globale est plus importante en 2022 en comparaison des valeurs de 2019, y compris pour la 5G. Celle-ci reste minoritaire (environ 8% du total). Le niveau maximal de la 5G est de l'ordre de l'exposition moyenne totale, et la variabilité de la 5G est du même ordre de grandeur que sa valeur moyenne.

On retrouve partout une contribution significative de la GSM-R 900 UL. Celle-ci pourrait correspondre à l'émission d'un téléphone portable ou d'un enregistrement contaminé (cross-over) entre les bandes UL et DL. Ce type de contamination pourra être vérifié par le fournisseur de l'ExpoM-RF, ou contrôlé en laboratoire.

3.3.7 Trajet en métro entre l'aéroport d'Incheon et l'agglomération de Séoul

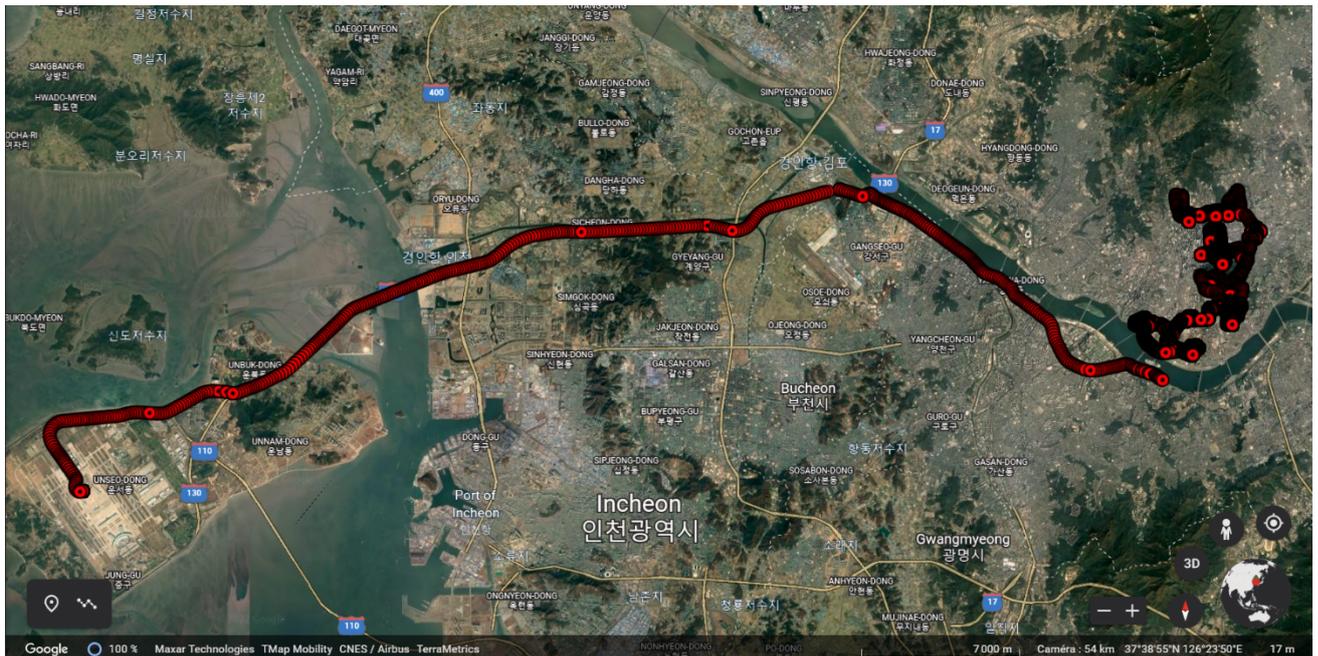


Figure 48 : Trajet emprunté de l'aéroport d'Incheon à l'agglomération de Séoul

La Figure 48 montre les positions de mesure lors du trajet routier entre l'aéroport et le centre de Séoul. Le trajet entre l'aéroport et le centre de Séoul a été effectué en métro.

Relevés pour l'ExpoM-RF

Les relevés suivants concernent le trajet en métro entre l'aéroport et le centre de Séoul.

La configuration de l'exposimètre est la suivante :

- La date de l'enregistrement : jeudi 07/07/2022
- Le début de l'enregistrement : 10h05
- La fin de l'enregistrement : 14h05
- La fréquence de l'échantillonnage est de 1pt/4s

Les principales données de l'exposition 5G-NR sur cette période d'observation sont :

- Un niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) de 81,11 mV/m,
- Un niveau moyen global de tous les services mesurés à 1179,8 mV/m,
- Un niveau maximum de la 5G TDD (Low Band) à 715,01 mV/m,
- Un écart type du niveau 5G TDD (Low Band) de 94,44 V/m.

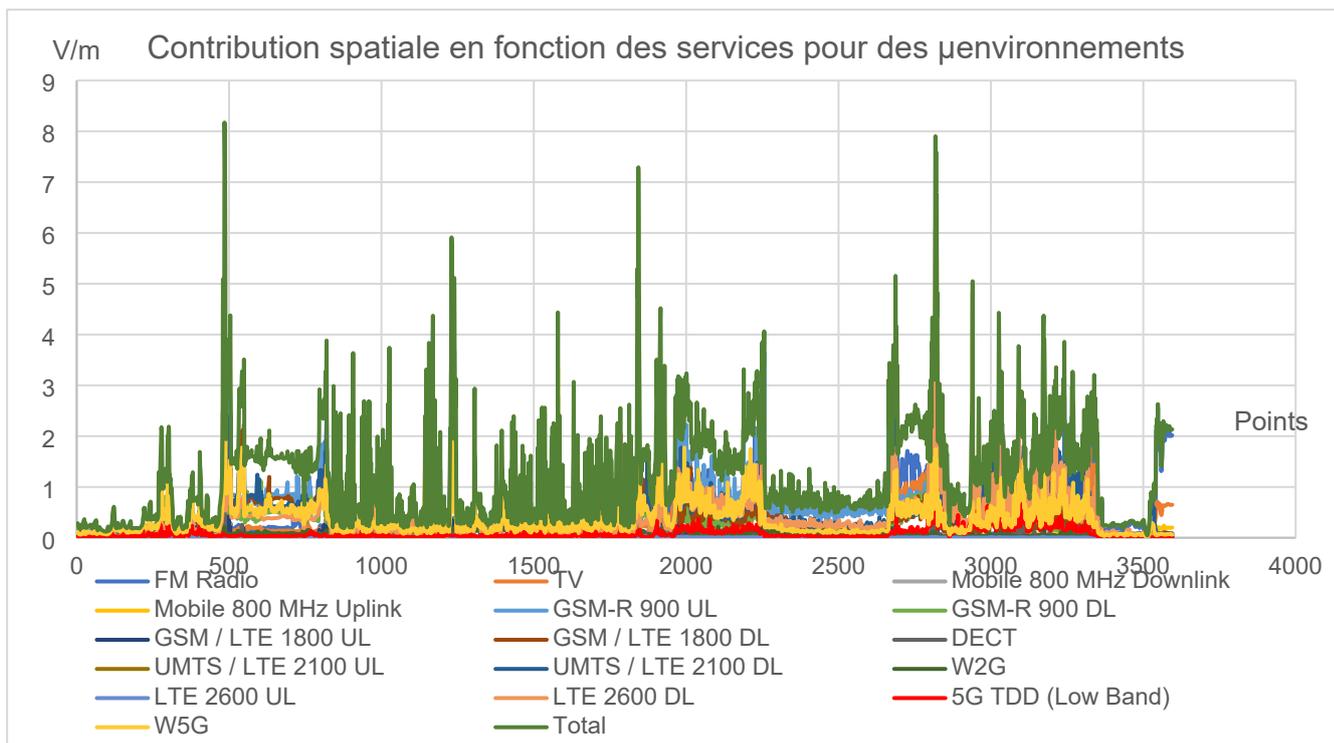


Figure 49 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services

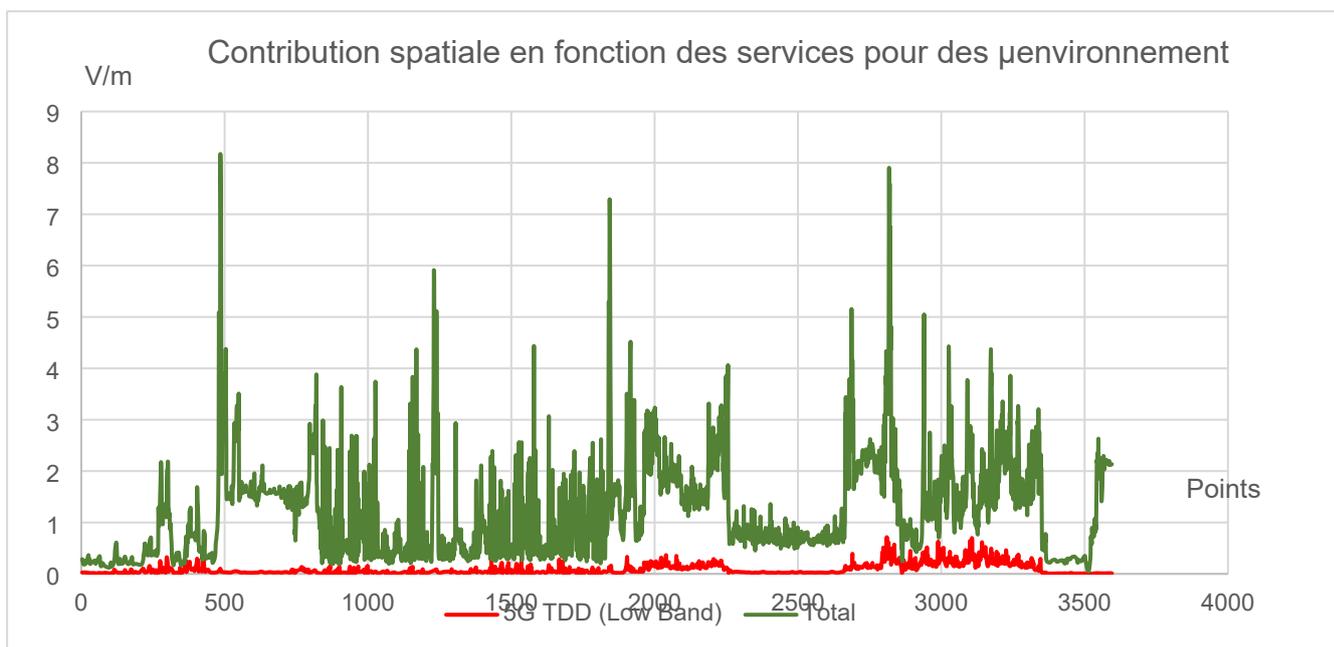


Figure 50 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services

Quatre zones, à partir du point 500, du point 1900, du point 2750 et autour de 3200 sont caractérisées par des valeurs maintenues au-dessus de 1 V/m sur au moins 150 points de mesure. La contribution de la 5G est très minoritaire.

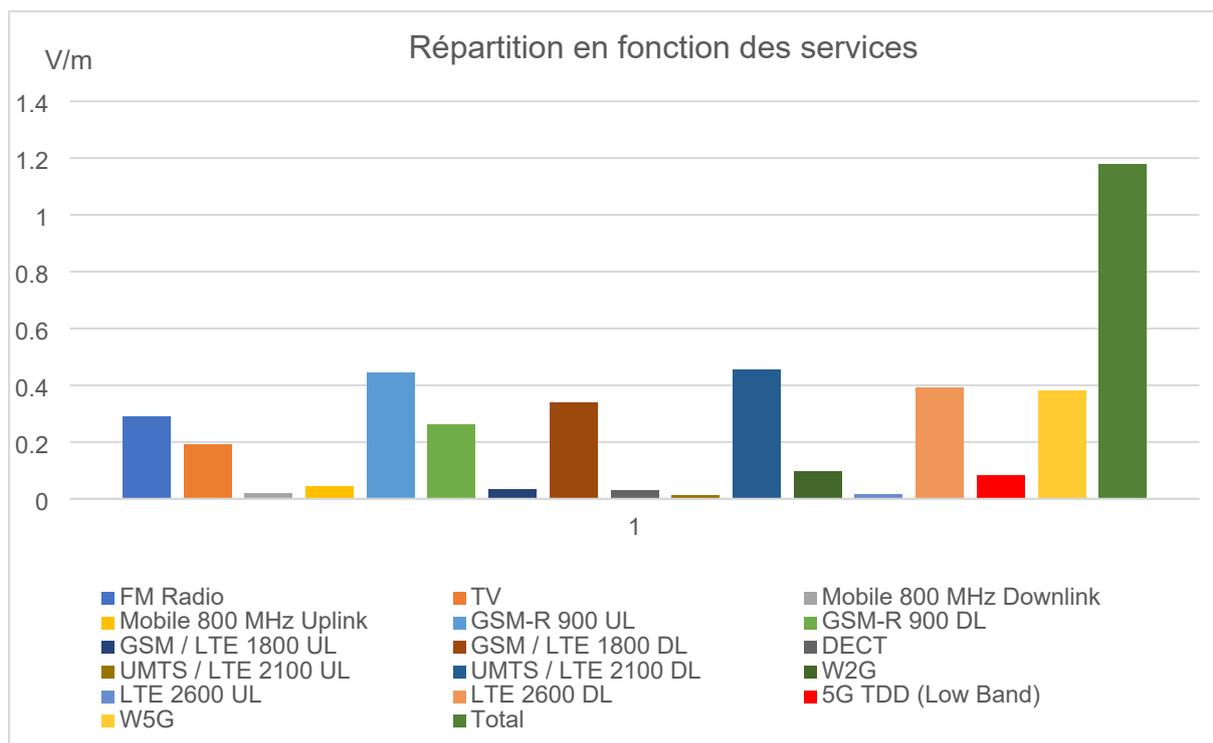


Figure 51 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services

Tableau 12 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne

Année de mesure	Niveau global mesuré de tous les services [mV/m]	Niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Niveau Maximum de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Ecart Type de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]
2019	282,4	20,0	497,8	36,7
2022	1179,8	81,11	715,01	94,44

3.3.8 Point fixe en zone urbaine dense durant la nuit

Une évaluation de la variabilité temporelle de l'exposition 5G a été réalisée. Le point fixe de la mesure est situé au :

Coordonnées GPS : 37°33'41.92"N / 126°59'21.77" E
 Ibis Styles Ambassador Seoul Myeongdong
 302 Samil-daero, Chungmuro 2(i)-ga, Jung-gu,
 SEOUL – COREE DU SUD

- Relevés pour l'ExpoM-RF

La configuration de l'exposimètre est la suivante :

- La date et l'heure de début de l'enregistrement : dimanche 10/07/2022, à 22h00,
- La date et l'heure de fin de l'enregistrement : lundi 11/07/2022, à 07h05,
- La fréquence d'échantillonnage est de 1pt/5s

Les principales données de l'exposition 5G-NR sur cette période d'observation sont :

- Un niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) de 2,64 mV/m,
- Un niveau moyen global de tous les services mesurés à 733,04 mV/m,
- Un niveau maximum de la 5G TDD (Low Band) de 90,20 mV/m,
- Un écart type du niveau 5G TDD (Low Band) de 7,75 mV/m.

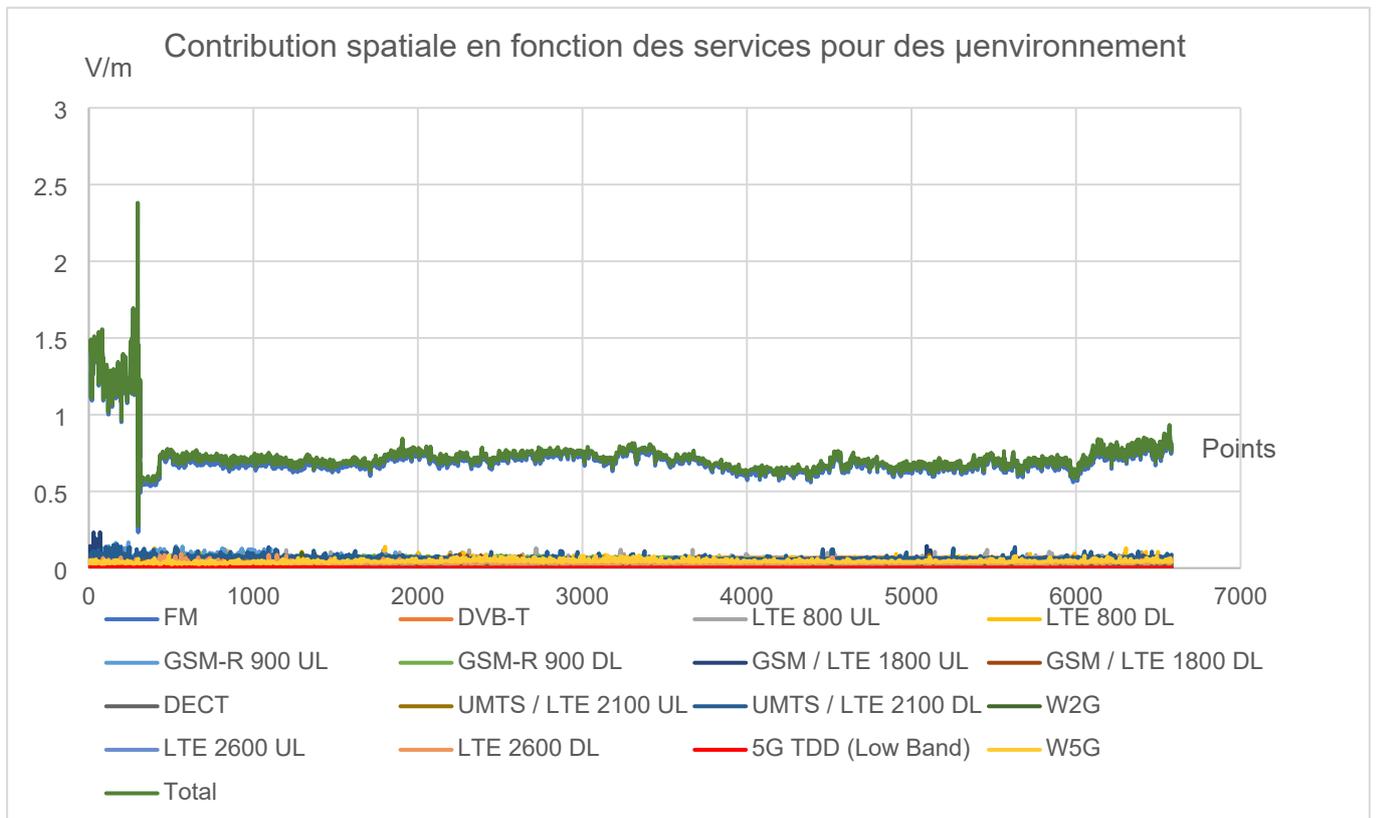


Figure 52 : Cartographie du champ électrique [V/m] en fonction des services

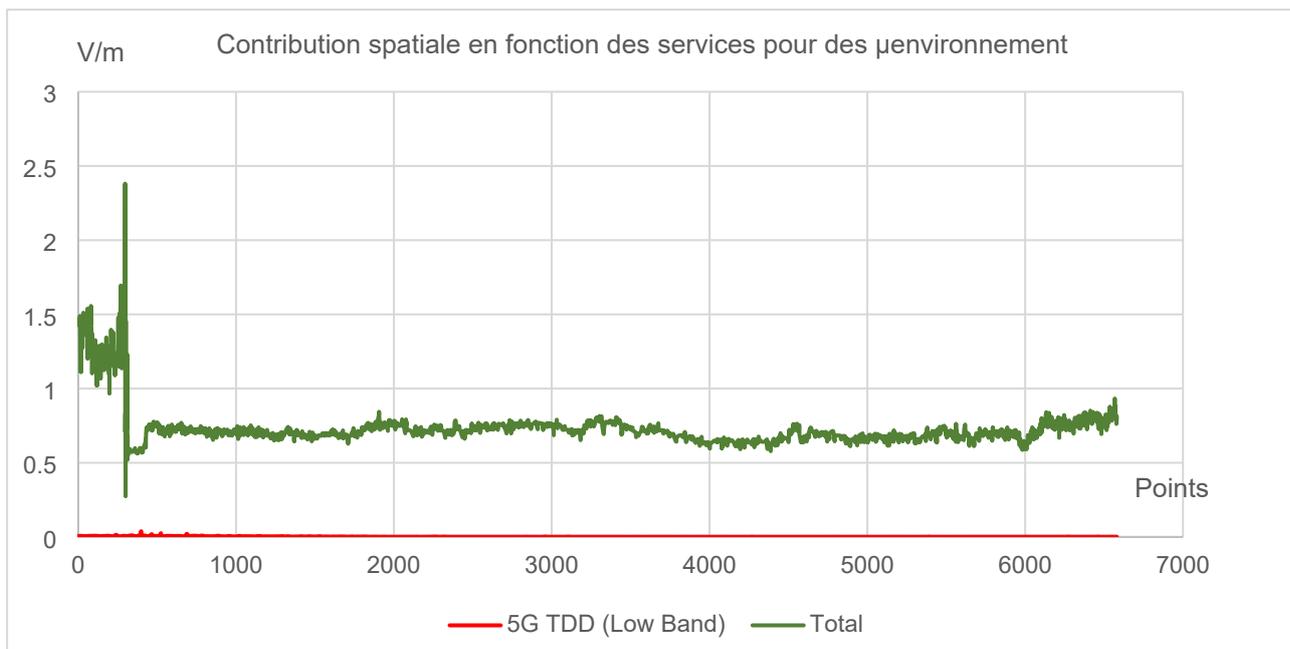


Figure 53 : Comparaison du champ électrique [V/m] de la 5G TDD (Low band) / au cumul des différents services

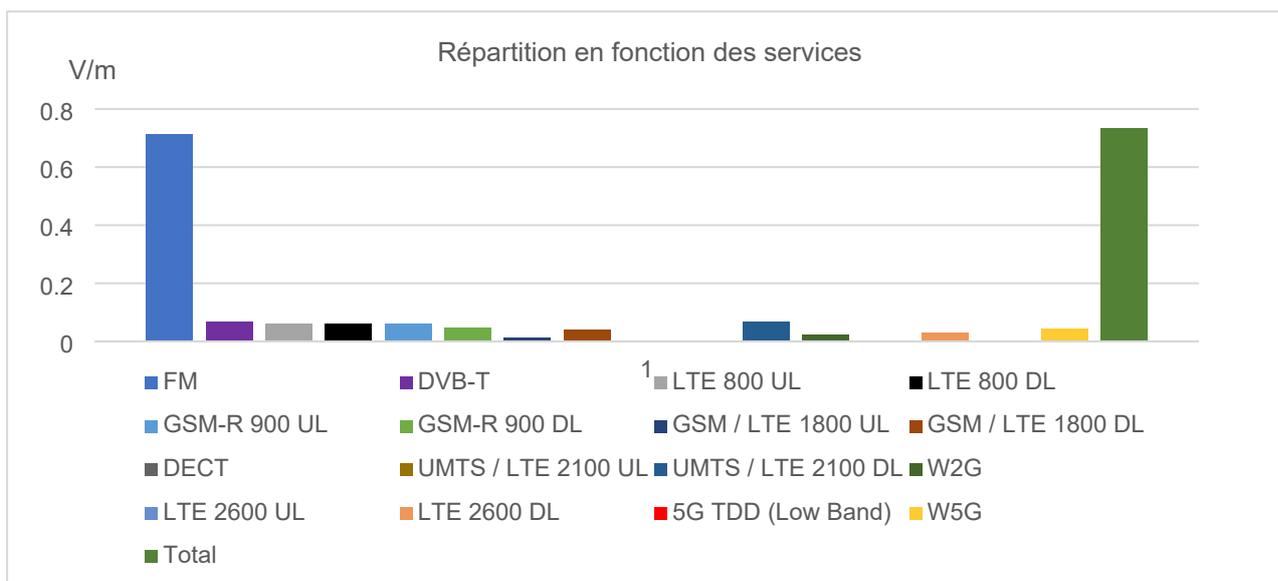


Figure 54 : Répartition du niveau moyen d'exposition [V/m] sur la période d'observation en fonction des services

La principale contribution est due à la FM. On se trouve en effet à proximité de la N Seoul Tower et on retrouve donc cette émission vue précédemment. La contribution de la 5G est ici faible.

La variabilité est peu importante dans ces mesures effectuées principalement de nuit.

Tableau 13 : Comparaison des résultats de mesure de la première et deuxième campagne

Année de mesure	Niveau global mesuré de tous les services [mV/m]	Niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Niveau Maximum de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Ecart Type de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]
2019	586,1	5,2	129,3	4,1
2022	733,04	2,64	90,20	7,75

4 Synthèse

La synthèse des mesures d'exposition sur l'ensemble des campagnes de mesures de l'année 2019 et de l'année 2022 est décrite dans les tableaux ci-dessous. Dans ce tableau, les valeurs mesurées par l'ExpoM-RF en 2019 sont reportées en bleu. Celles mesurées en 2022 sont reportées en rouge.

Tableau 14 : Synthèse des mesures d'exposition des campagnes 2019 (valeurs en bleu) et 2022 (valeurs en rouge)

Type d'évaluation	Niveau global mesuré de tous les services [mV/m]	Niveau moyen de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Niveau Maximum de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]	Ecart Type de la 5G TDD (Low Band) [mV/m]
En zone urbaine dense	1846,6	139,8	2135,6	157,8
	1324,58	134,62	6469,29	
En zone rurale	335,8	17,4	804,8	50,9
En zone urbaine	469,1	20,3	258,4	25,2
	398,55	39,61	266,54	34,98
A proximité d'une station de base 5G	1037,4	561,4	2576,2	669,7
	7265,19	2055,85	7688,48	3075,57
Sur ligne ferroviaire	373,0	16,1	732,3	33,5
	953,17	122,9	1487,39	145,36
Sur trajet urbain	805,4	47,6	1547,5	62,1
	1497,56	113,89	1516,22	102,74
Sur trajet extra urbain	282,4	20,0	497,8	36,7
	1179,8	81,11	715,01	94,44
A point fixe urbain dense	586,1	5,2	129,3	4,1
	733,04	2,64	90,20	7,75

Les valeurs maximales de champ électrique mesurées sur le toit et dans l'axe du faisceau de l'antenne appartenant à KT sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15 : Valeurs maximales de champ électrique à proximité de l'antenne de l'opérateur KT

Mesure réalisée	Valeur maximale mesurée (mV/m)	Power Channel (mV/m) BW centrée à 3,55 GHz	
		BW 20MHz	BW 100MHz
Sur le toit – à proximité des antennes			
Mesure spectrale RMS autour de la fréquence centrale KT – avec l'antenne cornet	9,1	12,5	24,9
Mesure spectrale RMS autour de la fréquence centrale KT (mode Max Hold) – avec l'antenne cornet	34,6	174,9	765,9
Mesure spectrale RMS autour de la fréquence centrale KT – avec l'antenne isotropique	71.1	42,1	136,7
Mesure spectrale RMS autour de la fréquence centrale KT (mode Max Hold) – avec l'antenne isotropique	81.7	377,2	1573
Mesure « Power Channel » autour de la fréquence centrale KT – à puissance maximale		132,6	642,8
Mesure « Power Channel » autour de la fréquence centrale KT – à puissance initiale		125,5	
Dans l'axe du faisceau principal			
Mesure spectrale RMS autour de la fréquence centrale KT	3,44	17,4	37,9
Mesure spectrale RMS autour de la fréquence centrale KT – mode maxHold	3.96	20,1	76,4
Mesure « Power Channel » autour de la fréquence centrale KT – à puissance maximale		25,3	66,6

Si une comparaison entre 2019 et 2022 est possible, voici quelques remarques ci-après. Les graphiques suivants montrent l'évolution de la moyenne et de la médiane des valeurs mesurées pour chaque service sur un itinéraire similaire en 2019 et 2022 ainsi que sur l'ensemble des points relevés lors de chaque campagne de mesures.

Selon notre protocole, les niveaux d'exposition du public en zones urbaines dense et non dense n'ont pas augmenté entre 2019 et 2022. En 2022, ces niveaux étaient respectivement 47 et 203 fois inférieurs à la limite de l'ICNIRP pour le public, 61 V/m. Les niveaux d'exposition dans les transports et sur un point fixe la nuit en zone urbaine dense ont faiblement voire modérément augmenté entre 2019 et 2022. En 2022, ces niveaux comparés à 61 V/m étaient respectivement 40 à 67 fois plus faibles sur les trajets et 87 fois plus faibles sur le point fixe. L'amplitude maximale d'augmentation atteignait 1 000 mV/m, soit 1 soixantième de 61 V/m. Ces variations incluaient des signaux ascendants d'une valeur approximative de 500 mV/m correspondant à la proximité d'un téléphone portable en usage qui pouvait parasiter les mesures.

Finalement, dans cette campagne de mesures, à l'achèvement du déploiement de la 5G, les niveaux moyens d'exposition du public culminent à approximativement 1500 mV/m, soit 1 quarantième de la limite d'exposition du public fixée à 61 V/m. Les pics (soit une valeur transitoire mesurée sur 5 secondes) culminaient à 6000 mV/m pour la 5G et 10 000 mV/m pour le niveau global d'exposition. Ceci correspondait au dixième et sixième de la limite (moyennée sur 6 minutes) à 61 V/m.

En situation d'achèvement du déploiement de la 5G, la valeur absolue (indépendamment de la notion de durée de mesure) de la limite visant à protéger le public n'est donc dépassée ni par les niveaux moyens, ni par les pics (maximums d'exposition). La marge avant dépassement est importante, comprise entre un facteur 40 et 200 pour le niveau moyen et 6 et 10 pour les pics d'exposition selon les environnements.

En conclusion, ces mesures effectuées en Corée du Sud suggèrent que le déploiement de la 5G ne s'accompagne pas d'une élévation notable du niveau environnemental de CEM pour le public. Une 3ème campagne de mesures est envisagée par l'Ineris en Corée du Sud à compter de 2024 afin de consolider ces conclusions.

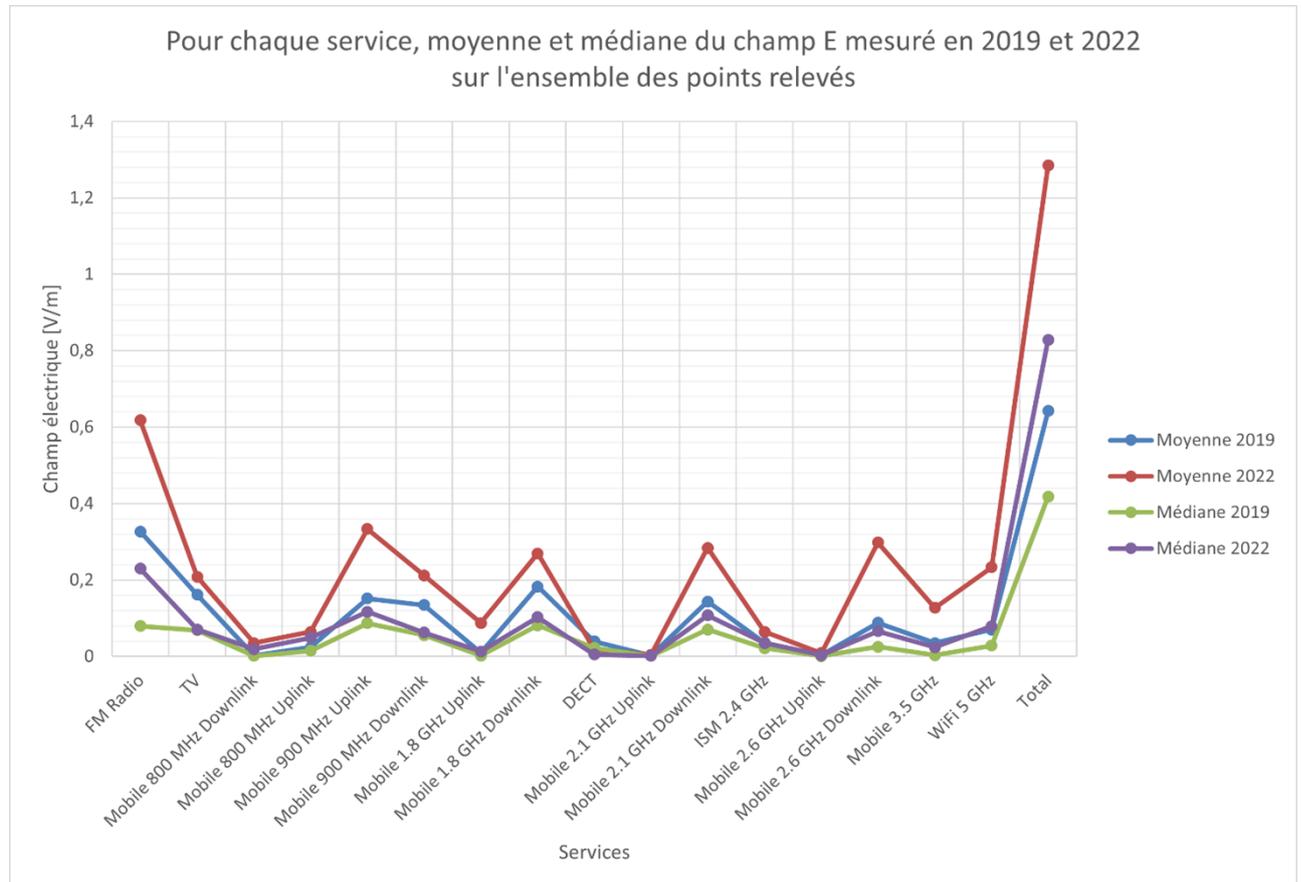


Figure 55 : Mesures des campagnes 2019 et 2022 par service pour tous les environnements

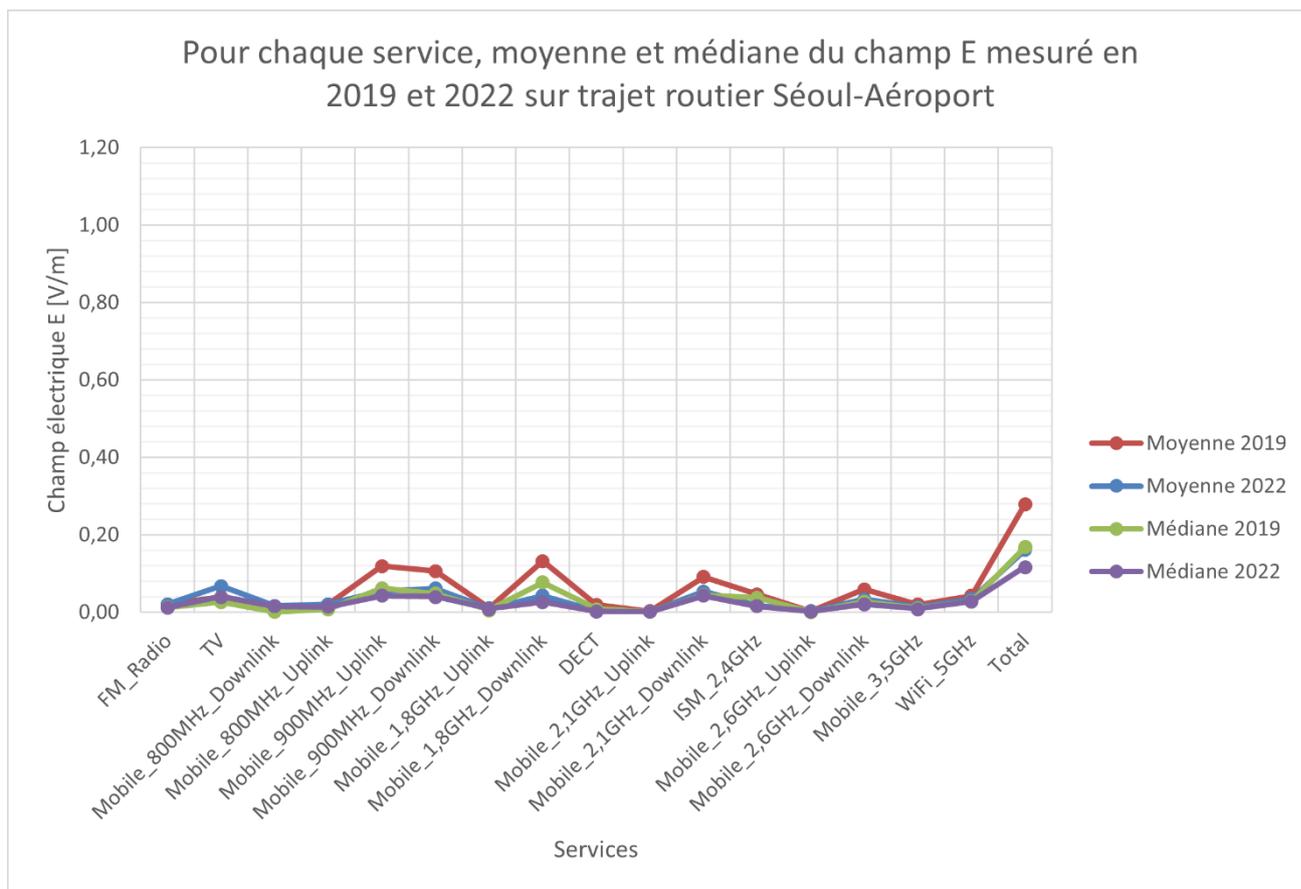


Figure 56 : Mesures des campagnes 2019 et 2022 par service sur le trajet routier Séoul-Aéroport

En 2019 le trajet routier a été effectué en bus et en 2022 il a été effectué en voiture.

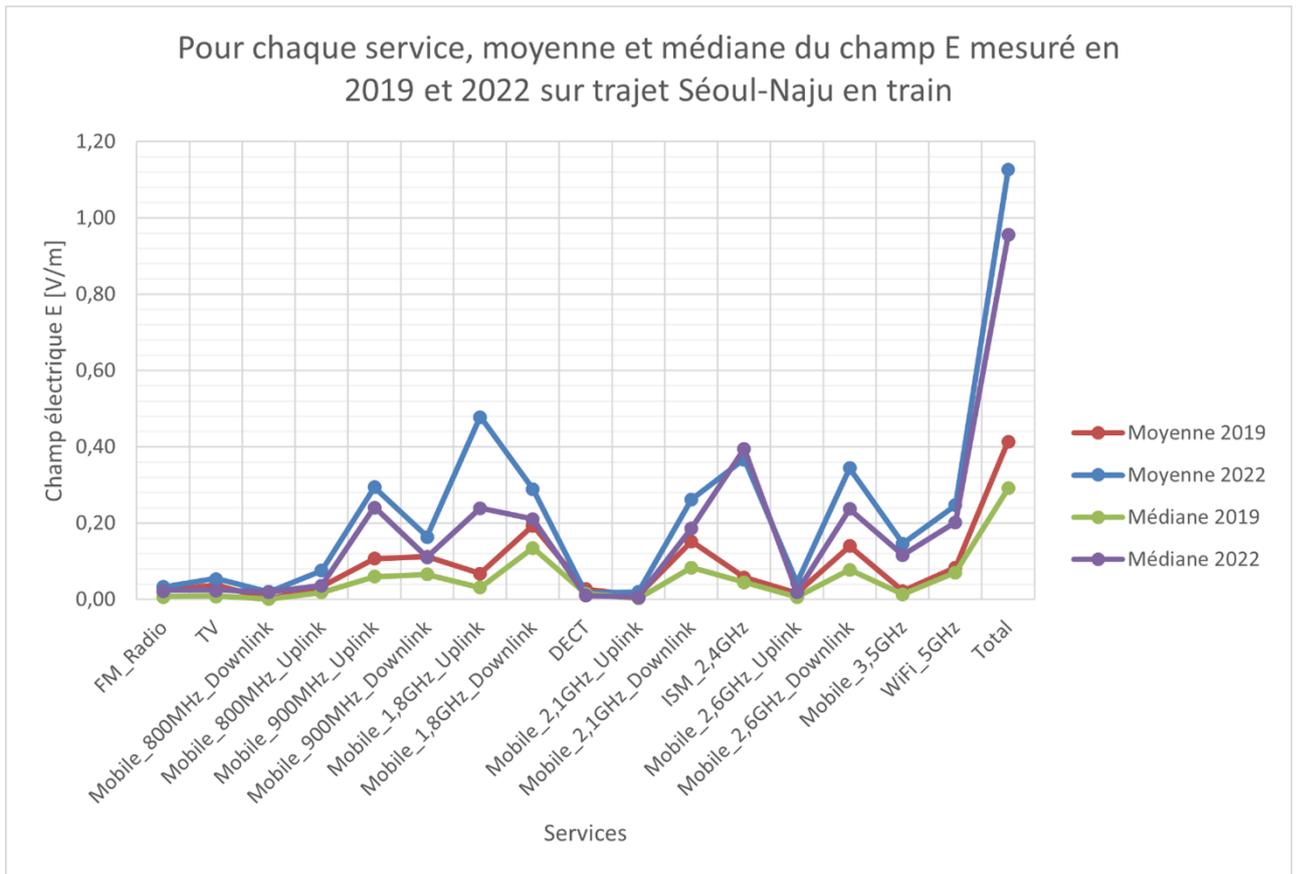


Figure 57 : Mesures des campagnes 2019 et 2022 par service sur le trajet Séoul-Naju en train

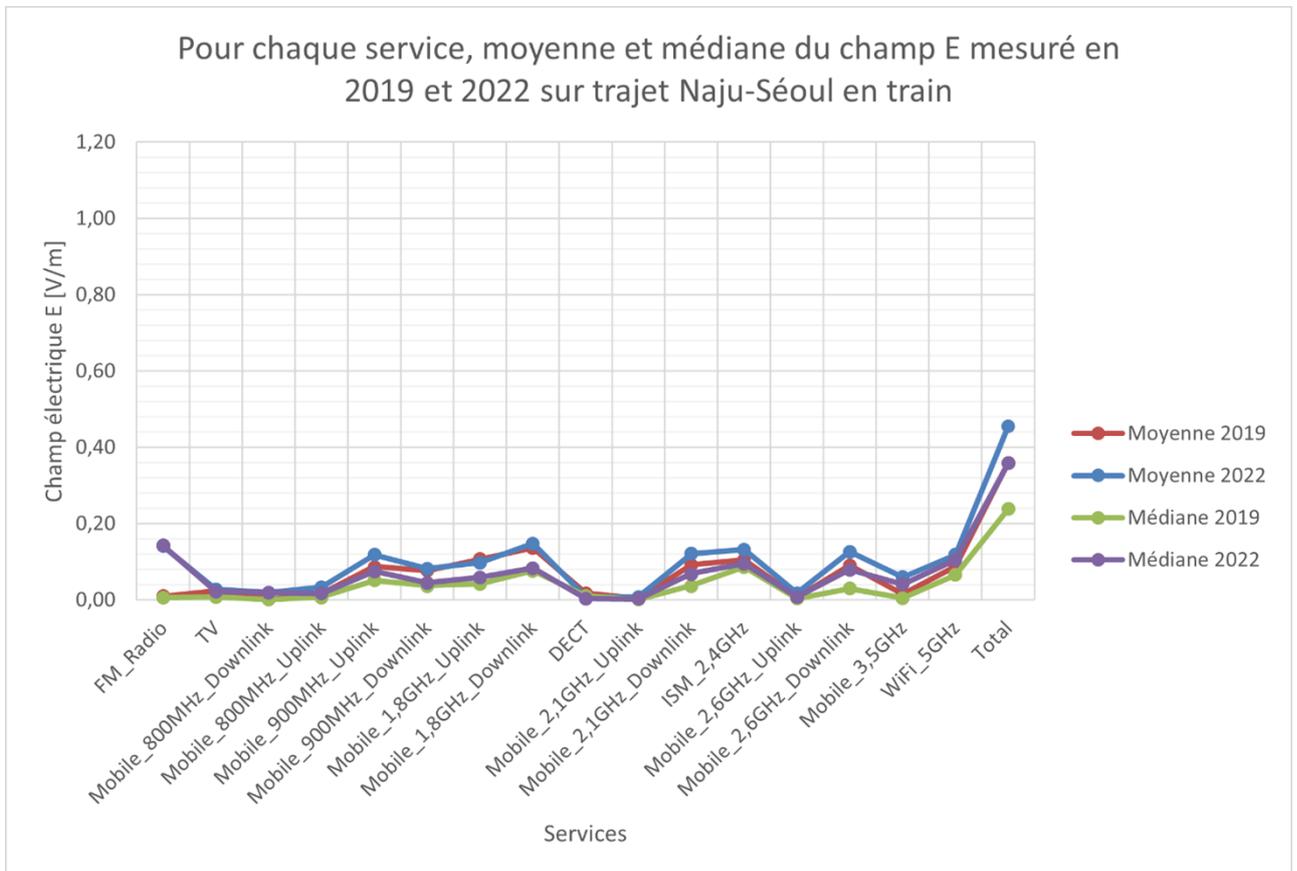


Figure 58 : Mesures des campagnes 2019 et 2022 par service sur le trajet Naju-Séoul en train

En conclusion, le nombre de cellules 5G a augmenté. La couverture totale du réseau a été atteinte dans toute la ville de Séoul. Le déploiement du réseau est en phase d'achèvement dans l'ensemble du territoire coréen. L'architecture 5G est déployée dans tout Séoul mais pas encore utilisée par tous les utilisateurs. Un constat général est une augmentation de l'exposition globale entre 2019 et 2022, y compris pour la 5G, mais celle-ci reste minoritaire (environ 8% du total). Le niveau maximal de la 5G est de l'ordre de l'exposition moyenne totale, et la variabilité de la 5G est du même ordre de grandeur que sa valeur moyenne. On retrouve partout une contribution significative de la GSM-R 900 UL, qui suggère que le niveau global peut être contaminé par les émissions des téléphones portables environnants.

Globalement, ces mesures n'indiquent pas de dépassement du niveau global de champ de 1 V/m dans les lieux fréquentés par le public. Ce niveau reste bien inférieur aux niveaux limites pour la population générale de 61 V/m. Ceci suggère qu'en situation de déploiement avancé de la 5G, le déploiement du réseau et son utilisation dans différentes configurations de l'environnement humain entraîne un niveau ambiant de champs électromagnétiques 60 fois inférieur aux niveaux limites à ne pas dépasser selon les normes en vigueur en France.

