

Bruxelles Environnement



Rapport du comité d'experts sur les radiations non ionisantes 2023

Président : Aerts, G.

Membres : Beauvois, V. – Cincera, M. – Erzeel, D. – Lagroye, I. – Pollin, S.
Rolain, Y. – Selmaoui, B. – Thielens, A.

Table des matières

1.	Evaluation de l'application de l'ordonnance	4
1.1.	Application générale des aspects techniques de l'ordonnance	4
1.1.1.	Situation générale du protocole de mesure.....	4
1.1.2.	Améliorations du simulateur	5
1.2.	Efforts en vue de la dissémination de l'information pour le public	5
1.3.	Efforts en vue du contrôle du respect des permis délivrés.....	6
1.4.	Avis général concernant le protocole de mesure.....	6
2.	Smartphone technologie	Erreur ! Signet non défini.
2.1.	Overzicht van de generaties en technologieën	7
2.2.	2G	8
2.3.	3G	8
2.4.	4G	8
2.5.	5G	10
3.	Déploiement de la 5G et exposition humaine au regard de la réglementation	12
3.1.	Introduction.....	12
3.2.	La réglementation	12
3.3.	Mesure expérimentale du CEM de la 5G : quid des valeurs environnementales ?	13
3.4.	Etude expérimentale humaine sur les effets de l'exposition au champ électromagnétique de la 5G	14
	Bibliographie :	15
4.	Évolution macroéconomique de la technologie 5G en Europe (2023)	17
4.1.	Introduction.....	17
4.2.	Augmentation du nombre d'abonnements à la téléphonie mobile 5G	17
4.3.	Augmentation des investissements dans l'infrastructure 5G	17
4.4.	Collaborations et comparaisons internationales	18
4.5.	Conclusion	18
5.	Développements microéconomiques de la technologie 5G à Bruxelles, Belgique (2023)	19
5.1.	Introduction.....	19
5.2.	Lancement des services 5G à Bruxelles.....	19
5.3.	Activités des opérateurs et amélioration du réseau	20
5.3.1.	Vente aux enchères du spectre 5G et assignation des fréquences.....	20
5.4.	Impact de la 5G sur les PME, le développement durable et les initiatives de villes intelligentes	20
5.4.1.	Impact sur les petites et moyennes entreprises (PME).....	20
5.4.2.	Initiatives en matière de développement durable et de villes intelligentes.....	20

5.5. Défis et considérations.....	20
5.6. Conclusion	21
Références.....	21

1. Evaluation de l'application de l'ordonnance

1.1. Application générale des aspects techniques de l'ordonnance

L'ordonnance relative à la protection de l'environnement contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les radiations non ionisantes de 2007 a été modifiée en 2023 pour tenir compte de la 5^{ème} génération de téléphonie mobile (5G).

Les modifications principales portent sur l'adaptation à la hausse des normes d'exposition et la prise en compte des émissions générées par les antennes radio et TV. Il en résulte une norme intérieure plus stricte de 9,19 V/m équivalent 900 MHz (indoor) et une norme extérieure de 14,57 V/m (outdoor).

Après la modification de l'ordonnance, a suivi l'arrêté de classement afin de transposer la nouvelle ordonnance et de cadrer l'arrivée d'un 4^{ème} opérateur. Les quotas par opérateur y ont été définis.

Notre avis concernant ce dossier a été remis (voir le document joint) et se base notamment sur le « Rapport 2023 de la Direction de l'Urbanisme au comité d'experts des radiations non-ionisantes » et le « Rapport 2023 concernant la mise en œuvre de l'ordonnance « GSM » par le départements « Technologies et rayonnements » et le service « Rayonnements électromagnétiques et Trafic aérien ».

La nouvelle ordonnance prévoit des contrôles supplémentaires dans le permis d'environnement, concernant la transition énergétique et la durabilité. Le texte de la charte est joint ici pour clarifier cet aspect :

« Cette charte prévoit également, une campagne de mesure 5G mMIMO, financée par les opérateurs. Cette campagne, débutée fin 2023, vise d'une part, à définir le contrôle de la méthode et le protocole de mesures et de contrôle de l'installation du Power Control, en faisant des mesures sur les sites 5G bruxellois ; et d'autre part, à s'assurer que les antennes actives sont correctement prises en compte lors de la délivrance des permis d'environnement. »

Le Comité d'experts doit donc également s'élargir pour inclure une expertise en consommation d'énergie et gestion des déchets, en lien avec le secteur des télécommunications sans fil. En effet, ces matières font désormais partie des sujets ajoutés à l'ordonnance.

1.1.1. Situation générale du protocole de mesure

Le Comité a évalué la méthode de mesure des rayonnements non-ionisants sur base de « Méthode de mesure GSM_2023.docx » (fourni par le service de « Gestion des nuisances ») dans le cas de plaintes d'habitants. Comme le montre la répartition des fréquences par opérateurs, actuellement les principales technologies sont les 2G, 3G et 4G. La 5G n'en est encore qu'à des débuts de déploiement et ceci dans les bandes 700 MHz, 2100 MHz et 3600 MHz.

A l'heure actuelle, l'« arrêté fixant la méthode et les conditions de mesure du champ électromagnétique émis par certaines antennes »¹ impose de mesurer 2 minutes par protocole utilisé. Afin de limiter la durée du contrôle sans que le temps de mesure ne soit réduit, le comité propose de remplacer la mesure d'un protocole à la fois par une mesure couvrant toute la bande passante en une

seule fois, mais portant sur une durée de 6 minutes. Ceci permet d'obtenir une diversité temporelle supérieure tout en tenant compte de toutes les bandes de fréquence. Le comité propose d'évaluer cette méthode alternative pour éviter que les temps de mesure ne deviennent prohibitifs sans devoir réduire le laps de temps de la mesure.

Bruxelles Environnement a également rédigé un marché qui a pour but de désigner un prestataire de services pour vérifier le respect des normes fixées en matière des radiations non-ionisantes, en qualité d'expert. Le prestataire sélectionné devra respecter l'arrêté et se baser sur l'article 3 de l'Ordonnance.

Le comité constate que le temps de mesure n'est pas clairement spécifié dans le cahier des charges. Étant donné l'impact important de ce paramètre dans la précision des mesures, le comité propose de mettre ce paramètre plus en évidence dans l'appel d'offre.

1.1.2. Améliorations du simulateur

Le simulateur Mithra-REM a été mis à jour. Les opérateurs peuvent introduire leurs demandes directement dans le logiciel ce qui accélère les demandes de permis. D'un point de vue technique, le logiciel permet désormais la prise en compte des toits en pente, la prise en compte du broadcast (avec méthode des ellipsoïdes de Fresnel en lieu et place de la méthode des lancers de rayons).

1.2. Efforts en vue de la dissémination de l'information pour le public

Le comité constate que l'administration poursuit son effort afin d'améliorer la dissémination de l'information concernant les radiations non-ionisantes vers le plus large public, comme suggéré par le Comité, y compris sur le fonctionnement du Comité d'experts.

Voir <https://environnement.brussels/citoyen/reglementation/textes-de-loi/quelles-sont-les-normes-legales-dexposition-aux-ondes-electromagnetiques>

Le Comité voit que l'administration maintient ces informations à jour, notamment avec les modifications de l'ordonnance. Le positionnement de l'ordonnance bruxelloise face aux autres législations (belges, européennes, internationales) est également une information importante, présente sur le site internet mentionné ci-dessus.

Le contenu internet sur la façon dont les normes d'exposition sont contrôlées, est également important pour les citoyens. Cette information comprend les simulations, les contrôles sur le terrain y compris le « Drive Test ». L'accès aux données des simulations a été amélioré en centralisant ses informations sur un nouveau « viewer ».

Voir <https://antennes3d.environnement.brussels/tw3d.php?id=001894860&lang=fr>

Les pages pour les professionnels ont également été revues, afin d'expliquer les obligations en matière d'ondes électromagnétiques.

1.3. Efforts en vue du contrôle du respect des permis délivrés

Le comité constate que l'administration poursuit son effort afin d'améliorer la conformité entre les permis d'environnement délivrés et les installations d'antennes. Pour ce faire, l'administration se fixe pour objectif de comparer, 2 fois par mois, les extraits des Operations and Maintenance Center (OMC) des opérateurs aux permis d'environnement. De plus, un certificat de conformité des installations est désormais nécessaire lors de la modification d'une installation.

1.4. Avis général concernant le protocole de mesure

Le Comité est d'avis que BE effectue les mesures de contrôle et les simulations correctement, avec précision et judicieusement. Le Comité note que l'évolution positive des procédures se poursuit. Le Comité voit d'un œil favorable les efforts déployés pour améliorer encore les mesures.

Le Comité tient à souligner que le nouveau standard 5G apportera des changements déterminants aux méthodes de mesures des niveaux de rayonnement. Le Comité encourage BE à continuer les efforts d'anticipation nécessaires pour inclure ces changements autant que possible pour éviter un écart entre la norme 5G et les mesures sur le terrain. Au vu de l'expertise construite autour de la caractérisation du rayonnement issu de la 4G, et des travaux préliminaires exécutés par BE, le comité a confiance en l'expertise de BE pour relever ce défi.

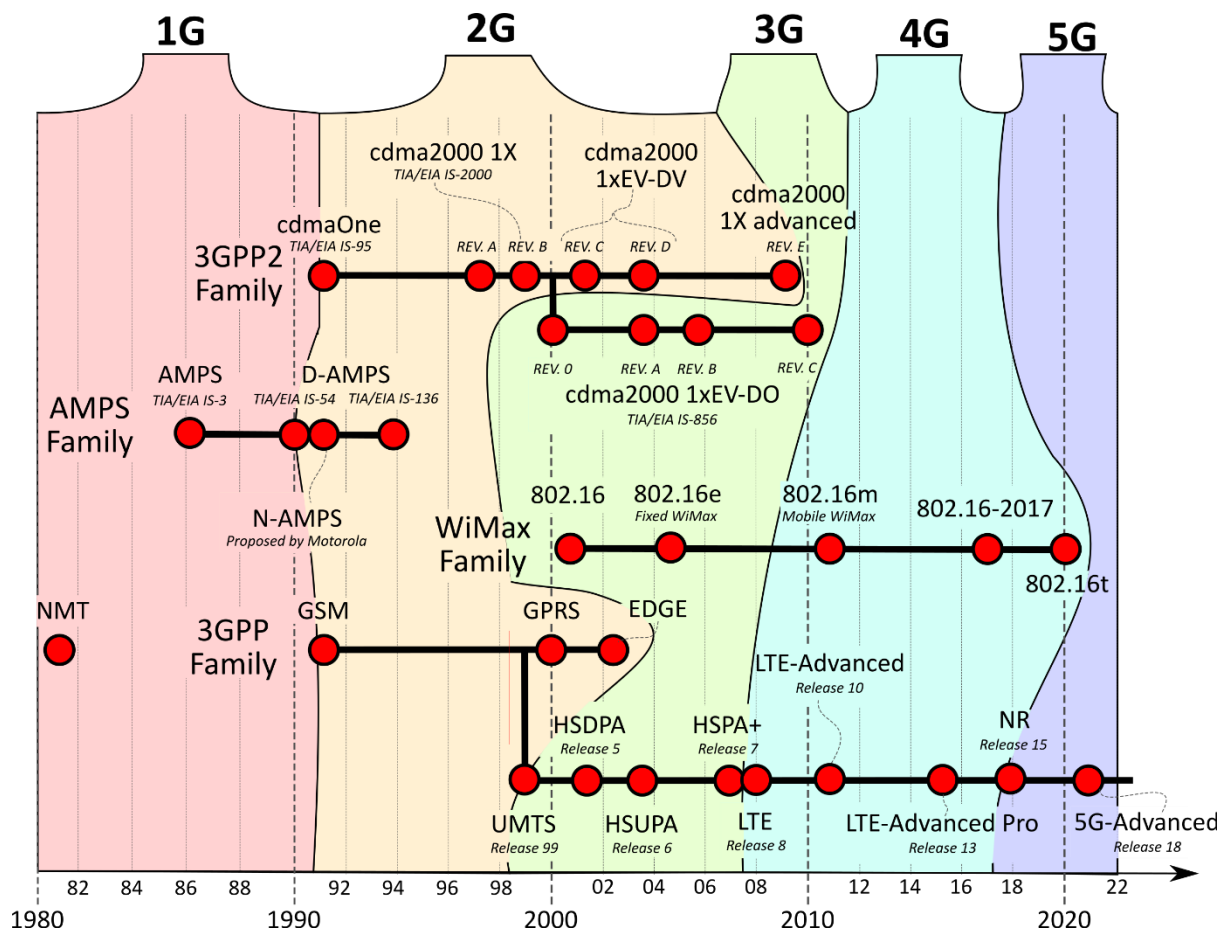
2. La technologie des smartphones

Dans le rapport de cette année, nous donnons quelques informations intéressantes sur la communication mobile. Nous commentons certains concepts de base et essayons d'expliquer tout cela d'une manière qui nécessite le moins de connaissances techniques possible. Toutefois, cela signifie également que nous ne pouvons pas entrer dans le détail des éléments techniques car cela nous entraînerait beaucoup trop loin.

2.1. Overzicht van de generaties en technologieën

Le "GSM" a connu son essor au début des années 90. L'acronyme GSM signifie "*global system for mobile communications*" (et anciennement "*Groupe Spécial Mobile*").

Le GSM a connu plusieurs générations et évolutions successives, qui se poursuivent encore aujourd'hui. La première génération de GSM à avoir réellement percé à grande échelle est connue sous le nom de 2G, qui signifie deuxième génération. La première génération n'a jamais été vraiment utilisée par le grand public. Au fil des ans, la génération suivante est apparue environ tous les dix ans : 3G dans les années 2000, 4G en 2010 et 5G en 2020.



Source wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Cellular_network_standards_and_generation_timeline.svg

2.2. 2G

La deuxième génération (2G) utilise la technologie GSM et est encore utilisée aujourd'hui. Les opérateurs proposent toujours cette technologie au niveau de leurs pylônes, et les anciens appareils peuvent encore l'utiliser.

La 2G permet de passer des appels basés sur un concept de commutation de circuits (circuit-switched) : comme pour un téléphone traditionnel, une connexion est établie entre deux appareils, après quoi l'appel se déroule et se poursuit jusqu'à ce qu'on raccroche. Pendant toute la durée de l'appel, le GSM utilise un canal à double fréquence pour émettre et écouter.

La norme permet d'appeler d'autres utilisateurs de GSM ainsi que le réseau de téléphonie fixe. De plus, il a été prévu dès le départ que votre appareil soit techniquement utilisable à l'étranger (en fonction de votre abonnement).

Plus tard, la norme GSM a été étendue pour inclure les technologies EDGE et GPRS. Il s'agit de méthodes à commutation de paquets (packet switched) qui permettent également l'envoi de données, mais à des débits très faibles.

Citons enfin aussi les SMS (Short Message Service), qui permettent d'envoyer des messages courts (jusqu'à 140 caractères).

Outre les appels et l'accès rudimentaire à l'Internet, la 2G permet encore la communication de machine à machine (Machine-to-Machine) avec des paquets de données.

On s'attend à ce que la technologie 2G disparaisse progressivement au cours des prochaines années, mais qu'elle reste présente jusqu'à la fin des années 20.

En Belgique, les bandes 900 MHz et 1800 MHz sont utilisées pour la 2G.

2.3. 3G

La téléphonie mobile de troisième génération utilise la technologie UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) en Belgique depuis les années 2000. D'autres parties du monde utilisent parfois des technologies différentes. La 3G combine à nouveau les deux concepts de communication à commutation de circuits pour les appels et à commutation de paquets pour l'accès à Internet (surfer, mail, etc.).

Le progrès majeur s'est traduit essentiellement par l'augmentation du débit de données. Cette augmentation était nécessaire parce que les pages web devenaient de plus en plus complexes et nécessitaient une plus grande capacité de télécommunication pour parvenir à l'utilisateur. L'utilisation d'Internet s'est banalisée et tout le monde a commencé à s'en servir, par exemple pour vérifier les horaires des trains ou pour les infos-traffic, ou encore pour envoyer des courriers électroniques via le téléphone portable.

Pour traiter tous ces signaux, des sites d'antennes supplémentaires ont été construits et de nouvelles fréquences ont été utilisées, principalement dans la bande des 2100 MHz en Belgique. Aujourd'hui, les opérateurs utilisent également la bande des 900 MHz pour fournir des services 3G.

L'UMTS a également connu plusieurs évolutions successives : HSPA (High Speed Packet Access), d'abord uniquement HSDPA pour la réception par l'utilisateur (appelée liaison descendante ou downlink), mais plus tard aussi pour l'uplink (ou liaison montante), de l'utilisateur à Internet.

La technologie 3G devrait disparaître en Belgique en 2024 et 2025. Si la 2G a été gardée plus longtemps, c'est parce que les appareils les plus anciens peuvent supporter la 2G (et pas nécessairement la 3G, en particulier pour le Machine-To-Machine).

2.4. 4G

L'introduction de la quatrième génération a marqué une autre évolution majeure. Elle utilise la technologie LTE (Long Term Evolution). Alors que la 3G permettait de surfer sur de nouvelles pages web et plus longues, la 4G permet de visionner des vidéos en continu. Il est devenu possible de regarder Youtube sur un téléphone portable ou de passer des appels vidéo avec la famille en vacances.

Cela nécessitait à nouveau des débits de données plus importants, ce que la 4G permet depuis les années 2010. Le télétravail via la LTE, par exemple là où il n'y a pas de connexion au réseau fixe, est également devenu possible.

Progressivement, l'appareil mobile est appelé smartphone plutôt que GSM, même si les deux termes restent largement utilisés.

La technologie 4G n'utilise plus la commutation de circuits, et durant les premières années, il fallait revenir à la technologie 2G ou 3G à commutation de circuits pour passer des appels téléphoniques. C'est ce qu'on a appelé le CSFB (circuit switched fallback) et qui explique pourquoi, dans les premiers temps de la 4G, votre téléphone mobile se déconnectait de sa connexion de données et passait en 2G ou 3G lors d'un appel entrant ou sortant.

Aujourd'hui, la plupart des GSM ou des smartphones peuvent également passer des appels en utilisant la technologie de la commutation par paquets. Il s'agit du VoLTE (prononcé volté), qui signifie "Voice over LTE", et qui est indiqué sur votre GSM ou votre smartphone par un symbole supplémentaire. Le GSM ou le smartphone indique également sur son écran la technologie par laquelle il est connecté au réseau et s'il utilise VoLTE (voir figure ci-dessous). Cela permet de maintenir votre connexion de données même lorsque vous passez des appels.



Figure: vous pouvez voir ici que l'appareil est connecté au réseau via la 4G et peut passer des appels via VoLTE

Des fréquences supplémentaires ont été mises à disposition pour la 4G : initialement il s'agissait des bandes 800 MHz et 2600 MHz mais aujourd'hui, les bandes 700 MHz et 1400 MHz ont également été ajoutées. En outre, depuis plusieurs années, toutes les bandes attribuées ont été rendues indépendantes d'un point de vue technologique, ce qui signifie que la 4G peut être utilisée dans les bandes 700, 800, 900, 1400, 1800, 2100 et 2600 MHz.

La LTE a également connu des évolutions, appelées LTE-Advanced et LTE Advanced Pro. Elles permettent notamment à la LTE de commencer à combiner différentes bandes afin d'augmenter le débit, ce que l'on appelle la CA ou Carrier Aggregation (agrégation de porteuses). Précisons très brièvement que la bande de 1400 MHz n'est pas une bande "à part entière", mais qu'elle fournit uniquement un soutien dans le sens de la liaison descendante pour une capacité de lecture supplémentaire. Elle n'est donc utilisée que dans le cadre d'une connexion CA.

Vous avez peut-être déjà aussi entendu parler de MIMO. Cette technique a également été introduite avec la 4G et permet à différentes antennes sur une même longueur d'onde d'offrir simultanément différents canaux de communication au même utilisateur ou à plusieurs utilisateurs. Cela permet une utilisation encore plus efficace de la cellule du réseau et de la bande de fréquences.

La 4G a également introduit des capacités de communication spéciales pour les échanges entre machines. Il s'agit de la LTE Cat-M (Category Machine-to-Machine) et du NB-IoT (Narrow Band Internet of Things). Les deux permettent par exemple de connecter des capteurs aux réseaux mobiles, comme les compteurs intelligents (smart meters). Les flux de données sont faibles, voire très faibles (par exemple, transmission d'un relevé de compteur une fois par jour). Cat-M offre un peu plus de capacité en termes de débit, et NB-IoT est principalement axé sur des débits très faibles mais sur une longue durée de vie de la batterie du capteur (p. ex. 10 à 20 ans sans remplacer la batterie).

Aucune date de sortie n'est actuellement prévue pour la 4G.

2.5. 5G

La dernière génération proposée est la 5G, qui utilise la technologie NR (New Radio).

La 4G a surtout permis d'améliorer le débit de données offert. La 5G va encore plus loin avec des débits encore plus importants (appelés eMBB - enhanced Mobile Broadband), mais elle offre également de nouvelles possibilités supplémentaires. Il s'agit de temps de réponse très courts et d'une communication très fiable (URLLC - Ultra Reliable Low Latency Communications) et d'un très grand nombre d'appareils par zone (mMTC - massive Machine Type Communication).

Des temps de réponse courts et des connexions extrêmement fiables sont nécessaires, par exemple, pour permettre des applications telles que les voitures autonomes ou l'assistance à la circulation. À l'avenir, les voitures pourront communiquer entre elles et avec l'environnement (V2X - Vehicle to everything). Prenons pour exemple la grande catastrophe routière provoquée par la collision en chaîne dans le brouillard sur l'E17 en février 1996. En permettant aux nouveaux réseaux de raccourcir le temps de communication entre les différents dispositifs, les voitures pourront se signaler mutuellement les manœuvres de freinage d'urgence (ou pire, les collisions), de sorte que les voitures suivantes commenceront automatiquement à freiner avant même que le conducteur ne puisse réagir lui-même,

dans l'espoir de sauver des vies humaines. Mais les voitures pourront également communiquer avec l'environnement, les feux de signalisation, les autres usagers de la route tels que les cyclistes pour éviter les accidents dus à l'angle mort, par exemple, ou les trains et les trams.

Un autre pilier est la fourniture de mMTC. La 4G a introduit le Cat-M et le NB-IoT en tant que capacités supplémentaires, mais la 5G a été conçue dès le départ dans cette optique. On s'attend à ce qu'à l'avenir, beaucoup plus d'appareils soient équipés de capacités de communication (par exemple, le V2X mentionné ci-dessus). La 5G permet de connecter des milliers d'appareils là où il n'y en a aujourd'hui que quelques dizaines.

Pour permettre la 5G NR, la bande de fréquences 3,6 GHz a été attribuée. À l'avenir, une bande dans la région des 26 GHz (en fonction de l'endroit dans le monde) sera également fournie au niveau mondial, mais elle n'est pas encore attribuée en Belgique (cette gamme de fréquences est appelée FR2 - Frequency Range 2, par opposition aux bandes inférieures à 6 GHz appelées FR1).

Pour tirer pleinement parti de la 5G, des ajustements doivent être apportés au réseau (câblé) sous-jacent. De tels ajustements ont déjà eu lieu lors de la transition de la 2G (GERAN - GSM EDGE Radio Access Network - réseau central ou core) à la 3G (UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network) et de la 3G à la 4G (EPC - Enhanced Packet Core). Les antennes pour le réseau 5G et les nouvelles bandes de fréquences sont déjà en service. Toutefois, la transition de l'EPC à la 5GC (5G Core) n'a pas encore été mise en œuvre. Les antennes et les signaux radio sont déjà disponibles, mais le réseau sous-jacent n'est pas encore opérationnel. Par conséquent, alors que les flux de données plus élevés sont déjà disponibles, les deux autres piliers - URLLC et mMTC - ne sont pas encore proposés. C'est prévu dans les années à venir.

3. Déploiement de la 5G et exposition humaine au regard de la réglementation

3.1. Introduction

La nouvelle génération de réseaux mobiles, connue sous le nom de la 5G, est d'ores et déjà introduite par l'industrie des télécommunications sans fil et les organismes de normalisation. La mise en œuvre de la 5G est décrite par les exigences de l'Union internationale des télécommunications (UIT), ou International Mobile Telecommunications -2020 (IMT-2020), qui définit les principales catégories de performances que ces nouvelles technologies réaliseront. Cette nouvelle technologie devrait fournir des services de haute qualité, tels que haute vitesse, faible latence, efficacité et fiabilité pour les réseaux mobiles. Des estimations récentes prévoient qu'un total de 3,5 milliards d'abonnements 5G sont attendus d'ici 2026 [Möller, 2020].

En 2016, la Commission européenne a lancé un plan d'action visant à définir un calendrier commun pour le lancement des premiers réseaux 5G en Europe. L'objectif était d'attribuer des fréquences 5G pionnières (700 MHz, 3,5 GHz et 26 GHz) pour pouvoir lancer des services commerciaux 5G dans chaque pays de l'Union européenne avant la fin de 2020.

3.2. La réglementation

L'arrivée de la 5G suscite des inquiétudes et des questionnements quant à son innocuité de par ses fréquences plus élevées que les précédentes générations de téléphonie mobile. En effet, plus les fréquences sont élevées et plus l'énergie transportée est importante. Or, les directives de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) ont été instaurées pour limiter l'exposition aux champs électromagnétiques, visant ainsi à protéger les personnes exposées aux champs électromagnétiques (CEM) radiofréquences (RF) dans la plage de 100 kHz à 300 GHz. Les directives couvrent de nombreuses applications telles que le WiFi, le Bluetooth, les téléphones mobiles, les stations de base et bien sûr, les technologies 5G.

La dernière publication (ICNIRP 2020) remplace et annule les lignes directrices de 1998 (ICNIRP 1998) sur les RF (de 100 kHz à 300 GHz), ainsi que la partie 100 kHz à 10 MHz des lignes directrices de l'ICNIRP sur les basses fréquences (ICNIRP 2010).

L'ICNIRP affirme qu'il n'y a aucune preuve que des mesures préventives supplémentaires apportent un quelconque bénéfice pour la santé publique. L'ICNIRP recommande fortement aux pays de mettre à jour leurs réglementations nationales pour s'aligner sur les dernières lignes directrices de l'ICNIRP (2020). Plusieurs pays ont mis en œuvre les lignes directrices actualisées de l'ICNIRP dans leurs réglementations nationales.

L'ICNIRP a conclu que les lignes directrices de 1998, qui constituent la base de la politique dans de nombreux pays, sont dans la plupart des cas conservatrices et protègent de manière adéquate la technologie actuelle. Par conséquent, les principales limites de l'ICNIRP (1998) sont conservées dans les lignes directrices mises à jour de l'ICNIRP (2020). L'ICNIRP a élaboré des directives d'exposition plus détaillées pour des cas spécifiques, en particulier pour les gammes de fréquences supérieures à 6 GHz.

Les lignes directrices de l'ICNIRP (2020) ont apporté un certain nombre d'améliorations à la protection de la santé et fournissent des orientations plus détaillées pour l'application de son système de protection de la santé. Il s'agit notamment de l'ajout de restrictions de base sur la moyenne du corps entier pour les fréquences CEM supérieures à 6 GHz, pour les expositions brèves (< 6 minutes) dans la gamme de fréquences CEM supérieure à 400 MHz et de la réduction de la zone de calcul de la moyenne pour les fréquences CEM supérieures à 6 GHz.

Il n'y a aucune preuve d'effets néfastes sur la santé à des niveaux d'exposition inférieurs au niveau des restrictions de base des lignes directrices de l'ICNIRP (1998) et aucune preuve d'un mécanisme d'interaction qui prédirait des effets néfastes sur la santé en raison d'une exposition aux CEM RF inférieure à ces niveaux de restriction de base. L'ICNIRP ajoute qu'il n'y a aucune preuve que des mesures de précaution supplémentaires seraient plus protectrices pour la santé de la population.

3.3. Mesure expérimentale du CEM de la 5G : quid des valeurs environnementales ?

Le déploiement du réseau de la 5G est devenu imminent. Dans certains pays, il l'est davantage et la couverture du réseau est pratiquement totale comme c'est le cas pour la Chine, la Corée du Sud, l'Australie, les Etats Unis et les Emirats Arabes Unis. L'inquiétude de la population de la survenue de la 5G concerne surtout l'augmentation de l'exposition globale aux CEM RF ou l'augmentation du niveau de champ. Dans ce contexte, des études expérimentales de mesure de champs électromagnétiques de l'ensemble des réseaux de la téléphonie mobile (2G, 3G, 4G et 5G) ont été effectuées pour déterminer la contribution de la 5G dans cet ensemble de réseaux. Une des études qui a été publiée dans le journal Bioelectromagnetics (Selmaoui et al., 2021) sera résumée dans ce rapport.

Selon cette étude (Selmaoui et al., 2021), les mesures ont été réalisées fin novembre 2019, soit six mois après le lancement du réseau, en collaboration avec l'Institut coréen de régulation des télécommunications, le « National Radio Research Agency (NRRA) ». Les mesures ont été réalisées dans deux villes coréennes représentant différents secteurs d'activité et différents types d'environnements urbains : Séoul, la plus grande ville de Corée du Sud, et Naju, une ville plus petite. En outre, des mesures ont été réalisées sur les lignes de train, lors de déplacements en voiture et en bus. Des mesures en point fixe sur 12 ou 24 heures ont également été développées pour quantifier les variations du trafic selon les heures de la journée.

Dans ce travail, une campagne de mesure dans le sud de la Corée du Sud a été réalisée pour déterminer la contribution de l'infrastructure 5G-NR nouvellement déployée dans l'exposition humaine aux champs électromagnétiques. Ces mesures ont été effectuées par un mesureur de champ et des exposimètres pour déterminer l'exposition totale aux spectres des champs électromagnétiques dans plusieurs domaines d'activité dans les villes sud-coréennes de Séoul et Naju.

Il apparaît que la contribution de la 5G-NR à l'exposition globale aux champs électromagnétiques est faible par rapport aux autres fréquences. En effet, les mesures effectuées à Séoul et dans différentes zones géographiques de Naju ont montré que cette contribution est inférieure à 15% de l'exposition totale dans les zones rurales et urbaines et les résultats étaient similaires en dehors de la ville. L'exposition à la 5G pendant le voyage urbain (à l'intérieur de la ville) a contribué à environ 15% de l'exposition totale. Nos résultats montrent donc que les niveaux d'exposition à la 5G étaient sous la limite d'exposition fixée par l'ICNIRP [ICNIRP, 1998, 2020]. En effet, pour la 5G, le seuil est de 39 V/m

à 700 MHz et de 61 V/m à 3,5 et 26 GHz. Les données montrent que l'exposition maximale mesurée sur un toit à proximité d'une station de base était toujours en-dessous de la limite d'exposition seuil fixée par l'ICNIRP. A des positions mobiles au niveau de la rue, le niveau d'exposition dû la 5G était bien en dessous de ce niveau (en dessous de **0,08 V/m**).

Cette étude est en accord avec le rapport de l'Agence National des Fréquences [ANFR, 2020] qui a publié ses données en ligne. Dans les différentes zones où les mesures ont été effectuées, il apparaît que la plus grande contribution aux niveaux d'exposition mesurés provient des fréquences des générations précédentes de technologies de mobiles (2G, 3G et 4G). Le niveau le plus élevé que nous avons observé dans la bande de fréquences utilisée pour la 5G était de 25% du niveau total d'exposition. Des mesures sur 24 heures à un point fixe ont montré que l'émission de champs électromagnétiques d'une station de base est habituellement stable dans le temps, autour de **5 mV/m**, sauf pendant les heures de pointe, qui sont concentrées le matin (vers 8-9 heures du matin) et où l'exposition augmente jusqu'à **130 mV/m**, et le soir (vers 18h-20h), ce qui ne montre qu'une multiplication par deux par rapport aux niveaux médians de jour et de nuit. La variabilité est en partie due à l'adaptabilité de la puissance de l'antenne en réponse au trafic pendant les mesures de 24 heures. Les mesures faites avec un mesureur de terrain à proximité de la station de base 5G-NR se sont avérées être de **12 V/m** (à 15 m de l'antenne) avec sa puissance de base. Cette valeur est augmentée à **21 V/m** lorsque l'antenne était à sa puissance maximale à la même distance. Le niveau d'exposition est resté sous la limite préconisée par l'ICNIRP. Ces données sont en accord avec d'autres études expérimentales basées sur des mesures enregistrées pour les réseaux mobiles opérationnels, qui ont mis en évidence que pour la 2G, la 3G et la 4G, la puissance de sortie d'une station de base approche rarement le maximum théorique [Colombi et coll., 2013 ; Joshi et coll., 2015].

En conclusion, la 5G ne semble pas augmenter significativement l'exposition de l'homme à cette fréquence et l'expose à des niveaux très faibles et très largement en dessous des valeurs réglementaires. Cette étude est en accord avec d'autres rapports [ANFR, 2020 ; Rapport Ofcom, 2021; rapport Telstra, 2021]. Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une campagne de mesure dans le Sud de la Corée, dont le rapport final a été publié en 2019 [Rapport d'expertise, 2019].

3.4. Etude expérimentale humaine sur les effets de l'exposition au champ électromagnétique de la 5G

Récemment, l'Europe a financé plusieurs projets européens afin d'étudier les effets des *champs électromagnétiques* de la 5G sur la santé. Parmi ces projets, GOLIAT concentre plusieurs études qui vont de l'épidémiologie aux études expérimentales en laboratoire. Les études expérimentales font appel à des modèles in vitro, in vivo chez l'animal, et in vivo chez l'homme. Une étude de ce projet a été publiée fin 2023 sur les effets de l'exposition du CEM de la 5G sur l'activité électrique cérébrale chez l'homme (Jamal et al. 2023, IJMS). Cette étude vise à explorer l'activité électrique du cerveau des participants sains lorsqu'ils sont exposés à une fréquence générée de 3,5 GHz ayant le niveau d'exposition actuellement trouvé dans l'environnement (2 V/m). À cette fin, 34 jeunes adultes ont été inclus selon des critères stricts. Ils ont participé à deux séances « en aveugle » et randomisées, contenant une période de pré-exposition et une période de post-exposition sans RF. Ces deux périodes étaient séparées par une phase d'exposition « réelle » ou « fictive ». Les fréquences étaient modulées et émises par une antenne dans une pièce à faible éclairage et électriquement blindée. L'électroencéphalogrammes (EEG) a été acquis en continu dans un état d'éveil au repos. L'analyse des données n'a révélé aucune différence significative sur les paramètres explorés. Par conséquent, selon

les conditions de cette étude, les auteurs concluent que cette bande de fréquences avec l'intensité de champ émise ne semble pas avoir un impact sur les paramètres étudiés chez des sujets sains.

Bibliographie :

Möller R. 2020. Mobile subscriptions outlook. In: Cerwall P, editor. Ericsson Mobility Report. Ericsson. p 4. Available at: <https://www.ericsson.com/4adc87/assets/local/mobilityreport/documents/2020/november-2020-ericsson-mobilityreport.pdf>

Selmaoui B, Mazet P, Petit PB, Kim K, Choi D, de Seze R. **2021**. Exposure of the South Korean population to the 5th generation (5G) of mobile phone networks (3.4 to 3.8 GHz). *Bioelectromagnetics*. 42(5):407-414. doi: 10.1002/bem.22345

Colombi D, Thors B, Persson T, Wirén N, Larsson LE, Jonsson M, Törnevik C. **2013**. Downlink power distributions for 2G and 3G mobile communication networks. *Radiat Prot Dosim* 157(4):477–487.

Joshi P, Agrawal M, Thors B, Colombi D, Kumar A, Törnevik C. **2015**. Power level distributions of radio base station equipment and user devices in a 3G mobile communication network in India and the impact on assessments of realistic RF EMF exposure. *IEEE Access* 3:1051–1059. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7151792>

Agence National des Fréquences (ANFR). **2020**. Assessment of the exposure of the general public to 5G electromagnetic waves. Part 2: First measurement results on 5G pilots in the 3,400-3,800 MHz band. Available at: <https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/5G/20200410-ANFR-rapportmesures-pilotes-5G-EN.pdf>.

Ofcom report. Electromagnetic Field (EMF) Measurements near 5G Mobile Phone Base Stations. Available at: https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0034/199717/statement-sut-modelling-700mhz-3.6-3.8ghz-spectrum.pdf

Telstra report. 5 Surveys of 5G. In BioEM Conference, Montpellier, 24–28 June 2019. Available at: <http://1u0b5867gsn1ez16a1p2vcj1-wpengine.netdna-ssl.com/wpcontent/uploads/2019/07/5-Surveys-of-5G-flyer-A4.pdf>

Jamal, L.; Yahia-Cherif, L.; Hugueville, L.; Mazet, P.; Lévêque, P.; Selmaoui, B. **2023**. Assessment of Electrical Brain Activity of Healthy Volunteers Exposed to 3.5 GHz of 5G Signals within Environmental Levels: A Controlled–Randomised Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, *20*, 6793. <https://doi.org/10.3390/ijerph20186793>

French Expertise Report. **2019**. Mesure de l'exposition au rayonnement radiofréquence de la téléphonie 5G-NR en Corée du sud. Ineris. Available at: <https://www.ineris.fr/fr/mesure-expositionrayonnement-radiofrequence-telephonie-5g-nr-coree-sud> [Last accessed 08 January 2021] (in French).

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). **1998**. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 74(4):494–522. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf>

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). **2020**. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys* 118(5):483–524. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). **2010**. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 H Z – 100 kHz). *Health Phys* 99(6):818-836; 2010. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdl.pdf>

4. Évolution macroéconomique de la technologie 5G en Europe (2023)

4.1. Introduction

Ce bref rapport donne un aperçu des récents développements macroéconomiques de la technologie 5G en Europe, en mettant l'accent sur les tendances clés, les initiatives d'investissement et les collaborations internationales. Les informations proviennent de divers documents et de recherches en ligne et offrent une mise à jour du rapport 2022.

4.2. Augmentation du nombre d'abonnements à la téléphonie mobile 5G

Une augmentation significative des abonnements mobiles 5G a été observée dans toute l'Europe. Les prévisions chiffrées montrent une augmentation constante, ce qui indique une adoption et une acceptation croissantes de la technologie 5G parmi les consommateurs et les entreprises en Europe.

Le nombre total d'abonnements 5G dans le monde se montait à 1,1 milliard au premier trimestre 2023, l'Europe occidentale prévoyant une pénétration de 88 % des abonnements 5G d'ici à 2028. Cette croissance rapide met en évidence l'adoption croissante de la technologie 5G (Ericsson, 2023).

4.3. Augmentation des investissements dans l'infrastructure 5G

Les pays européens ont intensifié leurs investissements dans l'infrastructure 5G, en se concentrant sur l'extension de la couverture et l'amélioration de la qualité du service. Ces investissements se traduisent par le déploiement de nouveaux réseaux 5G et la mise à niveau des réseaux existants pour prendre en charge les capacités 5G (5G Observatory, 2023).

Les récentes grandes ventes aux enchères de fréquences en Estonie, en Roumanie, en Irlande, en Croatie et en Espagne ont porté à 68 % le pourcentage total de bandes pionnières attribuées dans l'ensemble des États membres de l'UE. En outre, 81 % de la population de l'UE est désormais couverte par au moins un opérateur offrant des services 5G (5G Observatory, 2023).

La Banque européenne d'investissement (BEI) a signé un contrat de financement de 315 millions d'euros avec Cellnex pour soutenir le déploiement de la 5G dans plusieurs pays européens, facilitant ainsi la transition numérique dans les zones urbaines et rurales (European Investment Bank (EIB), 2023).

En Lettonie, Tele2 a constaté que la consommation de données mobiles sur son réseau 5G avait été multipliée par 13, ce qui met en évidence la demande croissante de services de données à haut débit (5G Observatory, 2023).

Vodafone Allemagne a accéléré le déploiement de la 5G près des chemins de fer, en construisant plus de 225 nouveaux pylônes mobiles pour améliorer la connectivité et la qualité de ses services (5G Observatory, 2023).

4.4. Collaborations et comparaisons internationales

La conférence européenne sur la 5G, qui se tiendra à Bruxelles en mars 2023, illustre les collaborations internationales et les efforts déployés pour aligner les stratégies européennes en matière de 5G sur les tendances mondiales et les meilleures pratiques (Forum Europe, 2023).

4.5. Conclusion

Ces développements au niveau macro soulignent l'évolution dynamique de la technologie 5G en Europe, caractérisée par une croissance rapide des abonnements, des investissements substantiels dans les infrastructures, l'adoption de l'architecture SA et une participation active aux collaborations internationales.

5. Développements microéconomiques de la technologie 5G à Bruxelles, Belgique (2023)

5.1. Introduction

Ce chapitre se concentre sur les développements microéconomiques de la technologie 5G à Bruxelles, en Belgique, en donnant un aperçu des initiatives locales, des changements réglementaires et des activités des opérateurs. Les informations proviennent de diverses sources, notamment de documents et de recherches en ligne.

Le déploiement de la technologie 5G à Bruxelles est appelé à jouer un rôle de catalyseur de la croissance économique et de la transformation numérique. Selon une étude de la Banque européenne d'investissement, les investissements dans l'infrastructure 5G sont cruciaux pour la numérisation des économies européennes et peuvent contribuer de manière significative à la croissance économique (Banque européenne d'investissement, 2020). À Bruxelles, cette transformation aura un impact particulier dans des secteurs tels que la finance, les soins de santé et la logistique, qui font partie intégrante de l'économie de la ville.

5.2. Lancement des services 5G à Bruxelles

Le statut de Bruxelles en tant que capitale de facto de l'Union européenne en fait une plaque tournante pour les entreprises et les institutions internationales. La connectivité améliorée offerte par la 5G devrait accroître l'efficacité opérationnelle de ces organisations. Une étude de Qualcomm souligne le rôle de la 5G dans la mise en place de nouveaux services et applications susceptibles de transformer les industries et d'améliorer considérablement la productivité (Qualcomm, 2019).

L'environnement politique favorable en Belgique, démontré par l'assouplissement de la réglementation sur les émissions de radiofréquences et le soutien du gouvernement aux projets pilotes 5G, est crucial pour le succès du déploiement de la technologie 5G. L'Institut belge des services postaux et des télécommunications (IBPT) joue un rôle clé dans ce processus en gérant les ventes aux enchères du spectre et les assignations de fréquences, en veillant à ce que le cadre réglementaire nécessaire soit en place (IBPT, 2023).

En septembre 2023, Bruxelles devrait lancer des services 5G à la suite de l'assouplissement de la réglementation stricte sur les émissions de radiofréquences. Cela marque un changement important par rapport aux politiques précédentes qui avaient stoppé le déploiement de la 5G dans la ville, permettant ainsi le déploiement d'une connectivité à haut débit (5G Observatory, 2023). L'investissement dans l'infrastructure nécessaire au déploiement de la 5G, y compris la mise à niveau des antennes 4G existantes et l'installation de nouveaux équipements 5G, devrait générer d'importantes opportunités d'emploi. Un rapport de la GSMA prévoit que la chaîne de valeur de la 5G pourrait soutenir jusqu'à 22,8 millions d'emplois dans le monde d'ici à 2035 (GSMA, 2020). À Bruxelles, cet investissement profitera non seulement au secteur des télécommunications, mais aussi aux industries connexes telles que la construction, l'ingénierie et les services informatiques, contribuant ainsi à la création d'emplois et à la diversification de l'économie.

5.3. Activités des opérateurs et amélioration du réseau

Les principaux opérateurs de réseaux mobiles belges, dont Proximus, Telenet et Orange, se préparent activement au déploiement de la 5G à Bruxelles. Les antennes 4G existantes devraient être mises à niveau pour la 5G, avec une couverture totale de la ville prévue d'ici un an.

Orange Belgique a été sélectionnée par le gouvernement belge pour mener 11 projets pilotes 5G utilisant des architectures autonomes entre 2023 et 2024. Cette initiative a également été soutenue par un accord de cinq ans visant à fournir une connectivité mobile et des services IoT autonomes au gouvernement flamand.

Parmi les autres annonces notables, Proximus et le port d'Anvers ont annoncé un essai de six mois d'un réseau 5G privé, et le port de Zeebrugge et Citymesh ont lancé un réseau 5G privé pour la connectivité des remorqueurs, des détecteurs de pollution de l'air, des caméras et des capteurs de quai.

5.3.1. Vente aux enchères du spectre 5G et assignation des fréquences

L'Institut belge des services postaux et des télécommunications (IBPT) a procédé à une vente aux enchères de fréquences, permettant aux opérateurs locaux d'obtenir des fréquences 5G dans les bandes 700 MHz et 3,6 GHz. Cette allocation permet l'expansion des services 5G à Bruxelles (5G Observatory, 2023).

5.4. Impact de la 5G sur les PME, le développement durable et les initiatives de villes intelligentes

5.4.1. Impact sur les petites et moyennes entreprises (PME)

Le déploiement des services 5G à Bruxelles représente une opportunité importante pour les PME d'accéder à des outils et technologies numériques avancés. La Commission européenne a souligné l'importance des technologies numériques, y compris la 5G, pour soutenir l'innovation et la compétitivité des PME (Commission européenne, 2020). En tirant parti de la 5G, les PME bruxelloises peuvent améliorer leur efficacité opérationnelle, innover en matière d'offres de produits et de services et étendre leur portée commerciale.

5.4.2. Initiatives en matière de développement durable et de villes intelligentes

La technologie 5G peut jouer un rôle central dans le soutien des initiatives de Bruxelles en matière de durabilité et de ville intelligente. Le Parlement européen a reconnu le potentiel de la 5G à contribuer au Pacte vert pour l'Europe en permettant l'utilisation de technologies à haut rendement énergétique et en soutenant la transition vers une économie numérique et verte (Parlement européen, 2020). À Bruxelles, la 5G peut faciliter la gestion intelligente de l'énergie, les systèmes de transport intelligents et l'amélioration des mesures de sécurité publique.

5.5. Défis et considérations

Malgré les nombreuses possibilités offertes par la 5G, il y a aussi des défis à relever, notamment les problèmes de cybersécurité, la fracture numérique et la nécessité d'investissements importants. Il est essentiel de relever efficacement ces défis pour maximiser les avantages de la technologie 5G. L'Agence de l'Union européenne pour la cybersécurité (ENISA) a publié des lignes directrices sur la sécurisation des réseaux 5G, soulignant l'importance d'un cadre de cybersécurité solide (ENISA, 2019).

5.6. Conclusion

En conclusion, les développements micro-économiques de la technologie 5G à Bruxelles en 2023 ont des implications profondes pour l'économie bruxelloise. L'évolution au niveau microéconomique à Bruxelles marque un tournant dans le passage des obstacles réglementaires à la mise en œuvre de la technologie 5G. Le lancement de services 5G, la participation active des opérateurs, l'attribution de fréquences et les déploiements de réseaux en cours démontrent collectivement le cheminement de Bruxelles vers une couverture 5G complète.

Le déploiement réussi de la technologie 5G peut stimuler la croissance économique, créer des opportunités d'emploi, améliorer la connectivité des entreprises, soutenir les PME, faire progresser les initiatives de villes intelligentes et contribuer aux objectifs de durabilité. Toutefois, la concrétisation de ces avantages nécessite un environnement politique favorable et une gestion efficace des défis potentiels.

Références

- Banque européenne d'investissement. (2020). L'importance de l'infrastructure numérique en Europe.
- GSMA. (2020). L'économie mobile en 2020.
- Qualcomm. (2019). L'économie de la 5G : Comment la 5G contribuera à l'économie mondiale.
- Commission européenne. (2020). Indice de l'économie et de la société numériques (DESI) 2020.
- Parlement européen. (2020). Le pacte vert pour l'Europe.
- Institut belge des services postaux et des télécommunications (IBPT). (2023). Rapport annuel 2023.
- Agence de l'Union européenne pour la cybersécurité (ENISA). (2019). Paysage des menaces de l'ENISA pour les réseaux 5G.