

Leefmilieu Brussel



Verslag van het comité van deskundigen inzake niet-ioniserende straling 2018-2019

Voorzitster: Beauvois, V.

Leden: Aerts, G. - Le Dréan, Y. - Erzeel, D. - Hecq, W. - Lagroye - I. - Pollin, S. - Rolain,
Y. - Selmaoui, B.

Inhoudsopgave

1	Evaluatie van de toepassing van de ordonnantie	4
1.1	Algemene toepassing van de technische aspecten van de ordonnantie	4
1.1.1	Algemene situatie van het meetprotocol	4
1.1.2	Uitvoeren van de metingen in het meetprotocol.....	4
1.1.3	De interpretatie en de verwerking van de meetresultaten	4
1.1.4	Gebruik van de simulator voor de voorspelling op de buitenschil van gebouwen	5
1.1.5	Gebruik van de simulator voor de voorspelling van indoor metingen	5
1.1.6	Het bepalen van foutenbanden voor de metingen	6
1.1.7	Het bepalen van foutenbanden voor de simulaties	6
1.1.8	Validatie van de simulaties met metingen.....	7
1.2	Uitdagingen voor het realiseren van de metingen in een 5G context	7
1.2.1	Invloed van spatiale en temporale diversiteit in 5G.....	7
1.3	Algemeen besluit van technische meetprotocol.....	9
2	5G technologie en gevolgen voor straling.....	10
2.1	Evolutie van de ordonnantie i.v.m. de stralingsnormen voor het Brusselse Hoofdstedelijke Gewest.	10
2.2	Groei van mobiele data capaciteit en de invloed op straling en normen	11
2.3	5G uitdagingen en opportuniteiten.....	14
2.3.1	Statistische aanpak berekenen straling	16
2.3.2	Verbetering van het link budget door ‘channel hardening’	19
2.3.3	mmWave blootstelling.....	22
2.4	Besluit.....	22
3	Gevolgen voor de gezondheid	24
3.1	Wetenschappelijke studies	24
3.2	Wat zal 5G veranderen in de interacties tussen golven en organismen?	28
3.3	NTP-studie (National Toxicological Programme)	29
3.4	Effecten van radiofrequentie op EEG	33
3.4.1	<i>Effecten van RF op EEG in waaktoestand</i>	33
3.4.2	<i>Effecten van RF op slaap-EEG</i>	34

3.4.3	<i>Conclusies</i>	34
3.5	Effecten van RF bij kinderen	35
3.6	Elektrohypersensitiviteit.....	36
3.7	Conclusie	37
3.8	Bibliografie	39
4	Economische impacten	43
4.1	Macro-economische aspecten	43
4.1.1	Voorwoord	43
4.1.2	Wereldwijde en Europese markten in de mobiele 5G-sector: verwacht aantal mobiele abonnementen en mobiel verkeer - Test- en uitrolfasen	44
4.1.3	Groeimotor.....	45
4.1.4	Directe en indirecte bijdrage aan de economische activiteit.....	46
4.1.5	Tewerkstelling	46
4.1.6	Infrastructuren (antennes en zendmasten)	47
4.1.7	Overheidsfinanciering - Inkomsten uit spectrumtoewijzing	48
4.1.8	Dienstverlening.....	49
4.1.9	Belemmeringen	49
4.2	Sociaaleconomische aspecten	53
4.2.1	Situering mobiele telecomsector in België.....	53
4.2.2	Rechtstreekse en onrechtstreekse bijdrage aan de economische ontwikkeling van de Belgische en Brusselse digital sector en bijdrage aan de werkgelegenheid.....	60
4.2.3	Beleid ter ondersteuning van de digitale economie.....	72
4.2.4	Belang van de netwerken voor de digitale economie en introductie van de nieuwe technologieën in Brussel	74
5	Suggesties.....	81
6	Algemene conclusie	81

1 Evaluatie van de toepassing van de ordonnantie

1.1 Algemene toepassing van de technische aspecten van de ordonnantie

1.1.1 Algemene situatie van het meetprotocol

We onderscheiden twee soorten metingen in deze context, de validatiemetingen en de inspectiemetingen. Het doel van deze metingen is verschillend:

- De validatiemetingen dienen om de resultaten van de simulatiesoftware te valideren door ze te vergelijken met de simulaties. Dit onderdeel van het meetprotocol is gedurende het laatste jaar grondig uitgewerkt en aangepast. Het doel hier is om de effectieve en gesimuleerde veldsterkte te vergelijken. Dit gebeurt zowel binnen als buiten de gebouwen.
- De inspectiemetingen dienen om het naleven van de norm na te gaan. Het protocol werd aangepast aan de 4G aspecten. De metingen worden hier gebruikt om de maximale veldsterkte te bepalen binnen en buiten de gebouwen.

Het meetprotocol dat voor inspectie wordt gebruikt binnen de gebouwen werd ook voorgesteld aan het comité. Het comité gaat akkoord met het gebruikte protocol, en besluit dat de procedures nauwgezet en traceerbaar worden uitgevoerd.

1.1.2 Uitvoeren van de metingen in het meetprotocol

1.1.2.1 *Outdoor metingen*

Het comité ging in het vorig rapport akkoord met deze procedure, en dit akkoord blijft bewaard.

1.1.2.2 *Indoor metingen*

Het comité gaat akkoord met de procedure die wordt gebruikt voor de indoor metingen

1.1.2.3 *Besluit*

Het comité merkt op dat LB rekening heeft gehouden met de suggestie van het vorige rapport.

1.1.3 De interpretatie en de verwerking van de meetresultaten

Er zijn geen noemenswaardige veranderingen in het protocol. Het comité gaat akkoord met het meetprotocol en de verwerking van de resultaten voor de metingen.

1.1.4 Gebruik van de simulator voor de voorspelling op de buitenschil van gebouwen

De constructeur van de simulator bevestigt dat de veldberekeningen geldig blijven boven het grondniveau, en dat de illuminatie van de buitenschil van de gebouwen correct wordt gesimuleerd.

- **BESLUIT:** Het comité oordeelt dat de software kan gebruikt worden om de illuminatie van de buitenschil van gebouwen te voorspellen.

1.1.5 Gebruik van de simulator voor de voorspelling van indoor metingen

Veldsimulaties worden door de simulator berekend tot op de buitenschil van de gebouwen. De simulator laat niet toe om de resultaten uit te breiden naar de voorspelling van de indoor straling in gebouwen. Deze uitbreiding wordt momenteel bekomen met een empirische procedure, die door BIM werd uitgelegd aan het comité.

Om de resultaten binnenshuis te bekomen kan de simulator niet worden gebruikt. Om toch een voorspelling te bekomen kan er gebruik gemaakt worden van een aantal veel voorkomende scenario's zoals reeds werd aangeduid in het vorige rapport.

Het BIM heeft met een aantal nieuwe meetcampagnes in 2018 verder aangetoond dat er een correlatie bestaat tussen de resultaten bekomen voor de simulatie en de controlemetingen. De resultaten tonen aan dat er een duidelijke correlatie bestaat tussen de metingen en de simulaties die worden bekomen door het Mithra-REM pakket. De analyse toont aan dat er met het simulatiepakket een lichte overschatting van de veldsterkte wordt bekomen. Vermits dit een conservatieve schatting meebrengt is dit zeker in het voordeel van de bevolking.

Een gemiddelde attenuatie van 5 dB werd bekomen voor de indoor metingen. Deze waarde is in overeenstemming met het materiaal waaruit de ramen zijn opgebouwd, en is dus weerom een positief resultaat¹. Het plan is om de studie verder te zetten om de resultaten statistisch relevant te maken en de eventueel resterende problemen op te sporen. De resultaten van deze campagnes moeten toelaten de veel voorkomende scenario's te identificeren en moeten toelaten om het aantal nodige configuraties in te schatten.

¹ Bijlage 1 van het huidige rapport

- **BESLUIT:** het comité gaat akkoord met het gebruik van de huidige procedure om de simulaties uit te breiden naar indoor voorspellingen. Deze procedure werd verfijnd, en de huidige resultaten lijken aan te tonen dat het gebruik van een gemiddelde attenuatie de veldsterkte op een gepaste manier kan voorspellen. De specifieke geometrie en setup van de indoor testlocatie lijken slechts in tweede orde bij te dragen.
- **SUGGESTIE:** Het comité juicht het verderzetten van de huidige meetcampagne toe. Het resultaat van deze bijkomende studie zal de statistische relevantie van het gebruik van een gemiddelde attenuatie analyseren. Wordt deze relevantie aangetoond, dan kan in de grote meerderheid van gevallen een valideerbare postprocessing worden bekomen.

1.1.6 Het bepalen van foutenbanden voor de metingen

Er zijn geen noemenswaardige wijzingen gemeld voor de bepaling van de onzekerheidsgrenzen voor de metingen. De kalibratie wordt nog verder uitgebreid, wat de bepaling van foutenbanden en nauwkeurighedsbanden in de toekomst verder zal verbeteren.

De ordonnantie voorziet geen gebruik van de foutgrenzen als resultaat van de controle van de installaties. De huidige methodologie die de gemiddelde metingen als meetresultaat aanbiedt voldoet dus aan de ordonnantie.

1.1.7 Het bepalen van foutenbanden voor de simulaties

Er zijn geen noemenswaardige veranderingen in de situatie gemeld voor de kwantificatie van de fouten op de software zelf.

Wel heeft de eerder aangehaalde nauwkeurighedsstudie voor de belichting van de buitenschil van de gebouwen nu toegelaten om de simulatie te valideren met reële metingen. Aan de hand van de huidig beschikbare metingen kunnen we verwachten dat de simulatie voldoende nauwkeurig is. Dit wordt bevestigd door het rapport van LB, waar het oorsprong van sommige outliers tussen metingen en simulaties werd geïdentificeerd en zal gebruikt kunnen worden om simulaties te verbeteren.

BESLUIT: Het comité is van oordeel dat het pakket voldoet aan de gestelde eisen voor metingen buiten de gebouwen en op de buitenschil van de gebouwen in een verstedelijkte omgeving zoals het geval is in het Brussels gewest. De eerder besproken metingen voor de validatie van de simulatie tonen aan dat de resultaten van de simulaties binnen een realistische foutenmarge overeenstemmen met de gerealiseerde metingen, wat een sterke validatie van de procedure met zich meebrengt.

LB zou de methodologie van de simulaties moeten veranderen om de oorsprong van de outliers te vermijden. De aanpassing van de methodologie vereist een ontwikkeling van de instrumenten en de berekeningstijd moet realistisch en praktisch blijven. De huidige methode vertoont al goede prestaties.

1.1.8 Validatie van de simulaties met metingen

LB heeft het project dat de validatie van de simulaties aan de hand van een testmetingen verdergezet. De resultaten van de studie zijn positief: de overeenkomst tussen metingen en simulaties is zeer goed, en de simulaties kunnen worden gebruikt om de indoor veldsterktes te voorspellen. Alle resultaten zijn statistisch relevant gegeven de grootte van de experimentele data set. Er is dus een significante vooruitgang geboekt.

- **BESLUIT:** Het comité juicht het initiatief van LB, en de goede overeenkomst tussen simulaties en metingen toe. Deze belangrijke stap objectiveert de kalibratie van de simulator met reële metingen. Het comité en de administratie zijn het eens dat het voordeel van deze test is dat de geloofwaardigheid van de voorgestelde aanpak wordt aangetoond. Deze metingen vormen een gezonde basis om voorspellingen van de straling binnenshuis eenvoudig en betrouwbaar te bekomen.

1.2 Uitdagingen voor het realiseren van de metingen in een 5G context

1.2.1 Invloed van spatiale en temporale diversiteit in 5G

1.2.1.1 *Spatiale diversiteit*

Het 5G protocol voorziet het gebruik van massive MIMO, wat op zijn beurt toelaat om adaptieve bundelvorming te voorzien. Hierdoor kan de capaciteit van het datakanaal worden geconcentreerd in de zones die nood hebben aan een grote datatoevoer.

Dit bemoeilijkt de metingen van de veldsterkte significant. De vraag naar een protocol dat een representatieve meting mogelijk maakt bestaat en wordt momenteel onderzocht. Het experten comité is van oordeel dat deze procedure zich in een te vroeg stadium bevindt om een implementatie toe te laten.

Suggestie: Er wordt voorgesteld dat LB de ontwikkelingen rond deze nieuwe meetprocedures goed opvolgt, zodat er tijdig aan de initiële testimplementatie kan gewerkt worden. Hierbij denkt het comité aan documenten zoals het voorstel Technical Report IEC TR 62669:2018, van het Technical Committee TC106 van het IEC (106/473/DTR). Volgens de website van het IEC, werd dit document goedgekeurd (106/482/RCDTR). Vooraleer het document publiek wordt gemaakt, verwachten we dat de huidige tekst zal worden vertaald en dat de publicatie dan mogelijk wordt.

Suggestie: De hogere spatiale en temporale diversiteit van 5G ten opzichte van 4G zal als gevolg hebben dat de spreiding (en dus ook de onzekerheid) van de metingen sterk zal toenemen. Betrouwbare metingen vereisen een lage spreiding, en deze kan alleen bekomen worden als er bijkomende informatie wordt toegevoegd aan het meetproces om deze diversiteit te beschrijven. De meest evidente manier om die informatie te bekomen is om hiervoor samen te werken met de operatoren zelf. Het lijkt het comité dan ook opportuun om in samenwerking met de operatoren af te spreken welke bijkomende nodige informatie over de werking van de netwerkkonderdelen kan beschikbaar gesteld door deze operatoren. Het comité denkt dat het beschikbaar stellen van een goed gedefinieerd, minimaal informatie pakket data enerzijds nodig is om een de metingen op een verantwoorde manier te realiseren, en anderzijds ook aanvaardbaar kan zijn voor alle operatoren.²

Spatiaal diverse metingen zijn met het huidige instrumentarium van LB niet accuraat meetbaar. Om betrouwbare en realistische metingen te kunnen realiseren, denkt het comité dat er nood zal zijn aan een uitbreiding van het instrumentenpark van LB. Hoewel de specificatie van 5G vast ligt, weten we nog niet in welke scenario's (e.g., grootte van de netwerk cel) 5G zal gebruikt worden in het Brusselse gewest, en de optimale meetstrategie hangt daarvan af. Nochtans zal deze investering in de nabije toekomst zeker nodig zijn.

Suggestie: Om de aankoop van nieuwe toestellen niet nodeloos te vertragen, stelt het comité voor om een provisie aan te maken voor deze additionele investering. Gezien de huidige onzekerheid over de praktische implementatie van 5G, kunnen we enkel een grootteorde van budget meegeven. Het comité is van oordeel dat het budget significant hoog zal liggen. Er wordt verwacht dat een investering in de grootteorde van 500 kEuro nodig kan zijn.

1.2.1.2 Temporale en spectrale diversiteit

Het 5G protocol heeft de modulaties voor het signaal vastgelegd. De nieuwe signalen worden ook temporaal meer divers. Dit brengt twee problemen met zich mee:

- De instrumenten zullen moeten aangepast worden om de nieuwe signaalvormen correct op te meten.
- De totale meettijden (de integratietijden) zullen ook hoogstwaarschijnlijk moeten worden aangepast om deze additionele onzekerheid in rekening te brengen

Momenteel is er nog geen aangepaste procedure in de literatuur. Er is wel een initieel project aan de gang dat poogt om deze aspecten mee te nemen [IEC TR 62669:2018]. Ook hier zal LB de situatie nauwgezet moeten blijven opvolgen om de nodige kennis van het protocol te verankeren.

²

<https://www.anfr.fr/controle-des-frequences/exposition-du-public-aux-ondes/actualites/actualite/actualites/premiers-pilotes-5g-lanfr-realise-des-mesures-exploratoires/>

Suggestie: Het comité moedigt LB aan om verder deel te nemen aan de activiteiten (ook aan de normeringsactiviteiten) rond het 5G, en de evoluties zoveel als mogelijk terug te koppelen in de huidige procedures om deze zoveel als mogelijk 5G-proof te maken.

Suggestie: Het comité is van oordeel dat om de metingen voor de 5G een gelijkaardige betrouwbaarheid te geven dan de 4G metingen, het verhogen van de meettijden onvermijdelijk zal zijn. Gezien de huidige onzekerheid over de 5G standaard, is het maken van een harde voorspelling over deze toename zeer moeilijk. Momenteel denken we dat een verhoging van de meettijd tot 30 minuten niet onmogelijk is. Dit is problematisch voor het realiseren van de controlemetingen door LB.

Besluit: Het comité merkt op dat 5G nu op een scharniermoment is gekomen, waar de standaarden al wel vastliggen maar hun gebruik en uitrol binnen het Brussels gewest nog niet volledig duidelijk is. Toch is er nood is aan een voorbereiding van de controleorganen op deze nieuwe standaard. De 5G standaard biedt naar metingen toe een aantal belangrijke uitdagingen, en het lijkt opportuun om zoveel als mogelijk te anticiperen op de veranderingen die dit nieuwe protocol zal meebrengen voor het meten van de veldsterktes.

1.3 Algemeen besluit van technische meetprotocol

Het comité is van oordeel dat LB de controlemetingen en de simulaties correct, nauwgezet en 'to the point' uitvoert. Het comité merkt op dat de positieve evolutie in de procedures zich verderzet. Het comité staat positief tegenover de inspanningen die werd gedaan om de metingen verder te verbeteren.

Het comité wenst te benadrukken dat de nieuwe 5G standaard significante veranderingen zal meebrengen voor de metingen van de stralingsniveaus, en dat het nodig is om zoveel als mogelijk op deze veranderingen te anticiperen om te vermijden dat er een hiaat zou ontstaan tussen de 5G standaard en de metingen van het veld. Het comité heeft er vertrouwen in dat LB over de nodige expertise beschikt om deze uitdagingen aan te gaan, uitgaande van de eerder opgebouwde expertise voor de 4G karakterisatie.

2 5G technologie en gevolgen voor straling

In deze sectie vat de technische aspecten van toekomstige draadloze communicatietechnologieën samen. De focus is op de 5G technologie die recent gestandaardiseerd werd en in de nabije toekomst zal worden in gebruik genomen.

De structuur van deze sectie is als volgt. We starten met de samenvatting van het standpunt dat het comité heeft ingenomen eind 2018 in verband met de evolutie van de stralingsnormen. Daarna geven we een samenvatting van de belangrijkste bevindingen uit de BIPT studie van september 2018 wat betreft de impact van de Brusselse stralingsnormen op de uitrol van 5G, en lichten die toe. We besluiten met een aantal aspecten van 5G technologie die nog verder onderzocht dienen te worden. Voor elk van deze aspecten lichten we zowel de uitdagingen als opportuniteiten toe.

2.1 Evolutie van de ordonnantie i.v.m. de stralingsnormen voor het Brusselse Hoofdstedelijke Gewest.

Het comité is het eens met de technische conclusies van de BIPT “Studie van 12 september 2018 betreffende de impact van de Brusselse stralingsnormen op de uitrol van de mobiele netwerken” [3] en benadrukt dat:

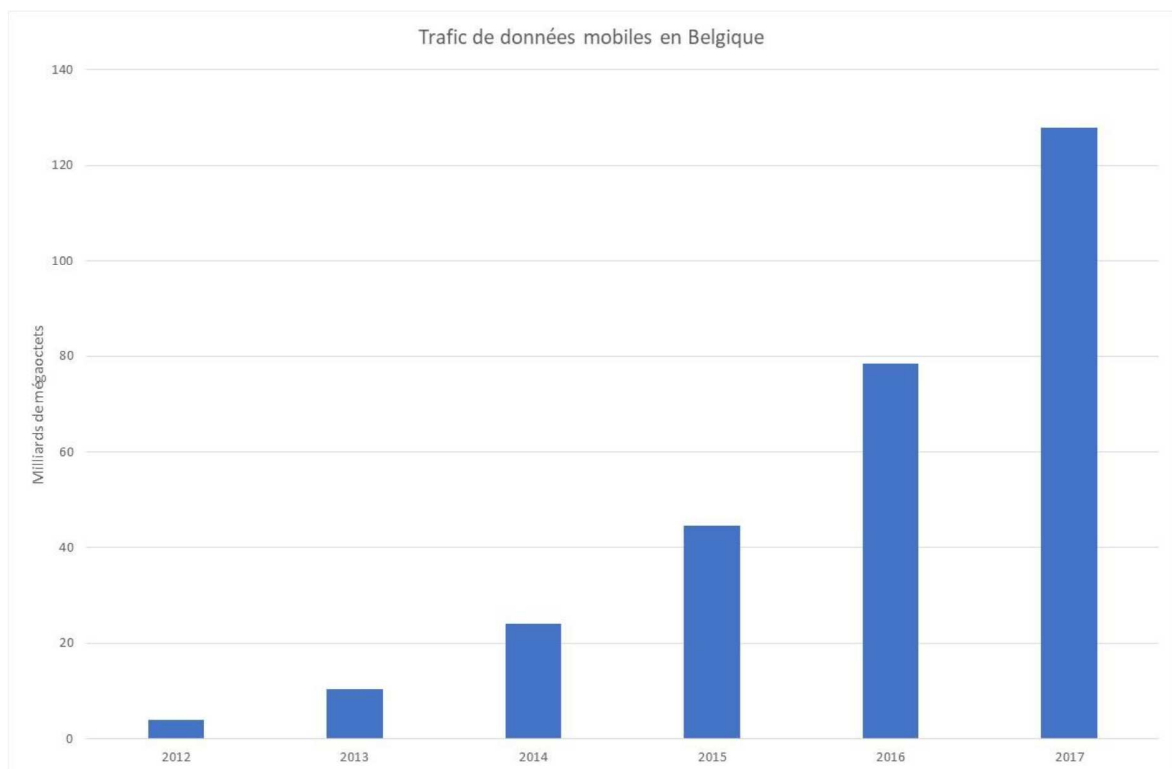
- Het met de norm van 6 V/m niet mogelijk is om de voorziene toename van het mobiele dataverkeer op te vangen, ongeacht de technologie die wordt gebruikt.
- Het nodig is om nieuwe frequentiebanden in gebruik te nemen om de toename van het mobiele dataverkeer op te vangen, en een verhoging van de limieten tot 14,5 V/m zijn een minimum om ook in die nieuwe banden een nieuwe antenne-infrastructuur, die extra straling zullen genereren, uit te kunnen rollen.
- De voorgestelde limiet van 14,5 V/m is echter een minimum, enkel voldoende om de nieuwe frequenties in gebruik te nemen, en maakt enkel een minimale 5G-uitrolstart mogelijk volgens voorwaarden die relatief gelijkaardig zijn aan de 4G uitrolvoorwaarden die de afgelopen jaren ontoereikend zijn gebleken.
- De voorgestelde minimale verhoging van de limiet veronderstelt ook dat de uitvoeringsbesluiten die aangeven hoe rekening te houden met de antenne specificaties gewijzigd worden zodat ze kunnen rekening houden met de nieuwe 5G Massive MIMO antennes.

³ Studie van 12 september 2018 betreffende de impact van de Brusselse stralingsnormen op de uitrol van de mobiele netwerken, <https://www.bipt.be/nl/operatoren/radio/antennes-gedeeld-antennegebruik/studie-van-15-september-2018-betreffende-de-impact-van-de-brusselse-stralingsnormen-op-de-uitrol-van-de-mobiele-netwerken> - link geraadpleegd op 8 maart 2019.

Technisch gezien is het zinvol om de norm boven de 14,5 V/m en tot de 41,5 V/m te nemen. Hoe dichter we bij de Europese norm aansluiten, hoe meer dit de capaciteit en de kwaliteit van de mobiele netwerken zal garanderen en dus ook de gebruikerservaring voor eindklanten zal verzekeren. Dit zal ons toelaten om mee te spelen in de Europese kopgroep van de ontplooiing van 5G netwerken.

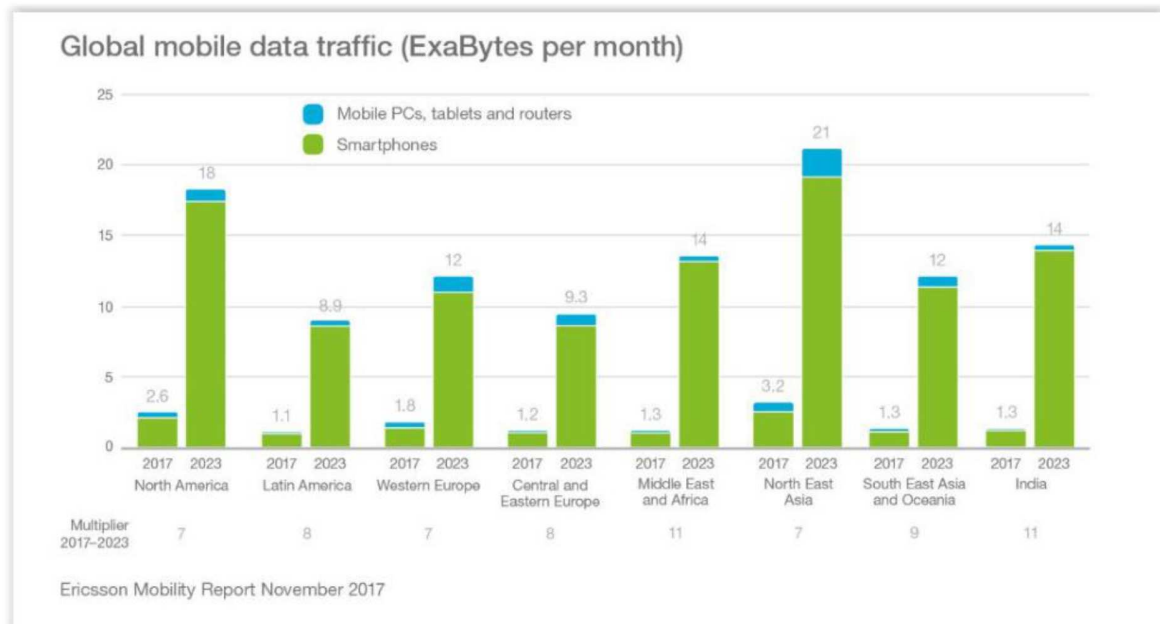
2.2 Groei van mobiele data capaciteit en de invloed op straling en normen

In elk decennium duikt een nieuwe generatie van mobiele-telecommunicatienormen op. Het mobiele-dataverkeer is letterlijk explosief gegroeid in België, gaande van 3,86 miljard megabyte in 2012 naar 127,84 miljard megabyte in 2017 (zie figuur 1). Het gemiddelde maandelijkse dataverbruik voor België blijft echter een stuk onder het OESO-gemiddelde.



Figuur 1 - Evolutie van het mobiele-dataverkeer in België tussen 2012 en 2017.

Deze trend zal zich allicht in de komende jaren nog voortzetten. Volgens de schattingen van Ericsson zal het mobiele-dataverkeer voor geheel West-Europa tussen 2017 en 2023 zich waarschijnlijk verzevenvoudigen, gaande van 1800 miljard megabyte per maand tot 12000 miljard megabyte per maand (zie figuur 2).



Figuur 2 - Voorspellingen van de evolutie van het maandelijks mobiele-dataverkeer in West-Europa.

De toename van het mobiele-dataverkeer heeft onvermijdelijk een impact op de vermogens die uitgestraald worden door de antennes van de operatoren. Volgens de limieten van de fundamentele fysica en communicatietheorie [4] is immers een bepaald minimaal energieniveau nodig om een bit informatie (spraak of data) over te brengen. Bij gelijke efficiëntie en met gelijke zendlocaties is het stralingsniveau van de antennes dus afhankelijk van het debiet van de gegevens. Figuur 3 geeft de een benadering voor de capaciteit van een communicatienetwerk, waaruit duidelijk is dat een capaciteitsgroei enkel voldaan kan worden door meer spectrum (B), meer antennes (n) of een hoger uitgezonden vermogen (hogere signal-to-noise ratio SNR).

⁴ N. J. A. Sloane; Aaron D. Wyner, "A Mathematical Theory of Communication," in *Claude E. Shannon: Collected Papers*, IEEE, 1993.

$$C \approx B \cdot n \cdot \log_2(1 + \text{SNR})$$

Capacity Spectrum Antennas

Link Quality

More spectrum

Higher frequencies
/broadband receivers

200kHz@900 MHz
20 MHz @ 2.6 GHz
100 MHz @ 3.5 GHz
400 MHz @ 26 GHz

More antennas

Smaller
cells and
multiple
antennas
per cell



More power

better algorithms
and hardware



Figuur 3 – Capaciteit of datasnelheid hangt af van het beschikbare spectrum (B), het aantal antennes (n) en de kwaliteit van de link (SNR die afhangt van het uitgezonden vermogen).

Het wegvallen van de 2G- en de 3G-technologie zal het weliswaar mogelijk maken om de spectrale efficiëntie te verhogen voor het gebruik van efficiëntere technologie in de banden van 900 MHz en 2000 MHz. Deze verhoging van de spectrale efficiëntie zal het op zich evenwel niet mogelijk maken om een verzeenvoudiging van het mobiele-dataverkeer op te vangen. Enerzijds is deze verhoging beperkt tot twee frequentiebanden. Anderzijds zijn de 2G- en de 3G-technologie constant geëvolueerd en is de spectrale efficiëntie ervan al aanzienlijk geëvolueerd ten opzichte van de aanvankelijke uitrol. Het vervangen van de 2G- en de 3G-technologie door een 5G technologie met eenzelfde stralingsquota zal niet volstaan om de verwachte datagroei op te vangen.

Bovendien zal 3G bovendien pas kunnen uitdoven wanneer het aantal smartphones dat niet 4G-compatibel is, marginaal zal zijn geworden. Vandaag zijn nog ongeveer 23% van de simkaarten niet 4G-compatibel. De mogelijke stopzetting van 2G zal nog voor meer problemen zorgen door het talrijke aantal M2M-klienten dat gebruik maakt van 2G-modems en het hoge aantal mobiele telefoons van de 2^{de} generatie in ons land. Ook zullen de stralingen die geproduceerd waren door de huidige 2G- en 3G-netwerken, bij een uitfasering, dienen te worden vervangen door stralingen die door een ander netwerk worden voortgebracht. Zo doende is in elk geval de gecombineerde afstand van 2G en van 3G voordat 5G is uitgerold, niet realistisch.

De vijfde mobiele generatie (5G), voorzien vanaf 2020, zal niet alleen zorgen voor een verhoging van het datavolume en de datasnelheden tot 20 GBits/s als piekcapaciteit en 100MBits/s voor elke gebruiker, maar ook om economische en maatschappelijke sectoren te digitaliseren en te interconnecteren (tot 1.000.000 objecten per vierkante kilometer). Deze sectoren worden in het kader van 5G aangeduid als “verticals”. Het gaat hier onder meer over de automobielindustrie, de veiligheidsdiensten, de energiesector, de gezondheidssector en de media. De noodzakelijke technologie voor de uitrol van 5G zal gebruik maken van een veelheid aan antennes die hun energie meer zullen bundelen dan een klassieke antenne voor 2, 3 of 4G. Er zal daarbij hogere blootstelling aan vermogen optreden. Er zal immers gebruik gemaakt worden van een Massive MIMO-systeem (Multiple Input Multiple Output) waarbij verschillende antennes

éénzelfde antennesector zullen dekken, zodat het debiet per gebruiker kan verhoogd worden en de signaalkwaliteit kan geoptimaliseerd worden voor plaatsen met moeilijke dekking.

Zonder aanpassing van de Brusselse stralingsnormen zal de verwachte toename van het dataverkeer met een factor zeven tegen 2023 niet kunnen plaats vinden ongeacht de uitgerolde technologie(ën).

Voor de uitrol van 5G is het absoluut noodzakelijk dat de berekeningsmethode, vastgesteld in de uitvoeringsbesluiten, aangepast wordt om rekening te houden met de Massive MIMO-antennes. Deze eis geldt niet enkel voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, maar ook voor het Vlaams en het Waals Gewest. Hieronder geven we nog een overzicht van de specifieke eigenschappen van 5G technologie, en de invloed op de berekeningsmethode voor de normen.

2.3 5G uitdagingen en opportuniteiten

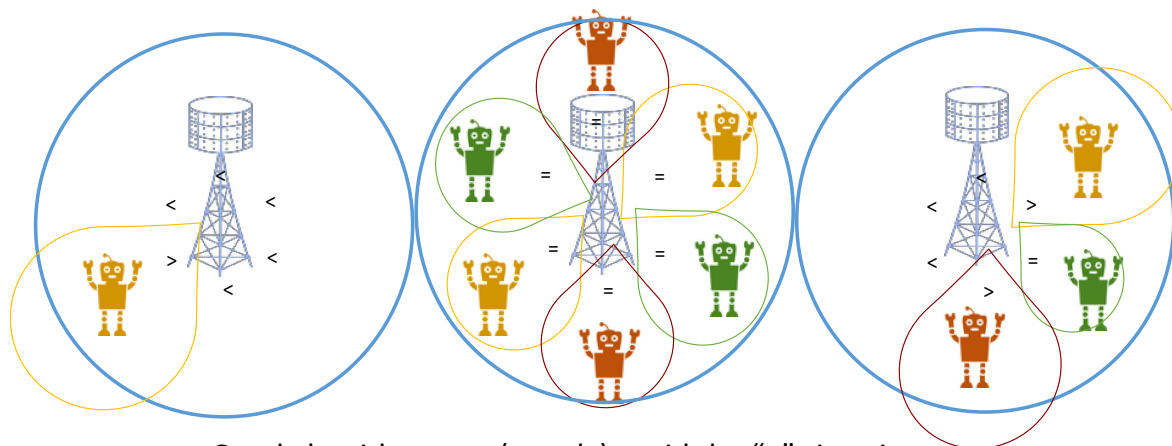
Door het gebruik van 5G communicatie zullen toekomstige cellulaire netwerken niet alleen enorme data capaciteit mogelijk maken (door verhogen van B, n en SNR uit figuur 3), maar ook in het algemeen striktere communicatie-kwaliteit garanderen voor toepassingen die naast capaciteit ook vertraging of betrouwbaarheid nodig hebben, of lage kost of lange batterijlevensduur, ter ondersteuning van de "verticals". Een overzicht van specificaties voor 5G is te vinden in het ITU *Vision report* [5].

Om die regenboog aan eisen mogelijk te maken wordt een grote waaier aan mogelijke technologieën voorzien. De meest disruptieve veranderingen die 5G technologie op vlak van straling met zich mee zal brengen situeren zich in het gebruik van Massive MIMO [6] en ook mmWave [7]. Bij beide technologieën zal het vermogen meer gericht worden, waardoor we nu naast pulsen of pieken in tijd en frequentie ook **gecontroleerde ruimtelijke pieken** zullen krijgen in het stralingspatroon.

⁵ M.2083: IMT Vision - "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond"

⁶ E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson and T. L. Marzetta, "Massive MIMO for next generation wireless systems," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, blz. 186-195, februari 2014.

⁷ M. Giordani, M. Polese, A. Roy, D. Castor and M. Zorzi, "A Tutorial on Beam Management for 3GPP NR at mmWave Frequencies," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 1, blz. 173-196, eerste kwartaal 2019.



Good algorithms can (mostly) avoid the “>” situation

Figuur 4 - Illustratie van het focussen van vermogen naar meerdere gebruikers in de context van Massive MIMO. Links is het meest extreme scenario, waar alle antennes samenwerken om een ‘array gain’ of vermogenswinst voor 1 gebruiker te realiseren. Het gevolg is dat de meeste locaties in de cell een lagere (<) straling ondervinden. In het midden is een scenario waar het vermogen uniform wordt uitgestuurd, maar het focussen richt zich nu op het creëren van verschillende signalen voor verschillende gebruikers om de totale capaciteit beter te benutten. In dit geval is er geen verschil in straling tussen en 4G en 5G cel. In een typisch scenario is het realistisch te verwachten dat een aantal gebruikers meer vermogen zullen ontvangen. Een nieuwe berekeningsmethode van de norm zal opvangen hoe die gecontroleerde ruimtelijke gemiddelde pieken verspreid zijn.

Dit concept wordt zeer vereenvoudigd geïllustreerd in Figuur 4. Daar is duidelijk dat je het vermogen in een cel niet meer uitspreidt over alle gebruikers, maar richt naar de gebruiker waarvoor de signalen effectief bedoeld zijn. Bij 5G kan de totale capaciteit in het netwerk dan verhoogd worden door verschillende signalen naar meerdere gebruikers te sturen op hetzelfde ogenblik. Deze technologie is multi-user Massive MIMO [8]. Er zijn meerdere mogelijke positieve gevolgen voor de gebruiker die in de literatuur vaak vermeld worden, zoals

1. Minder straling als de gebruiker niet actief is;
2. Een beter kanaal (“channel hardening” [9]) voor de actieve gebruiker die dan een lager vermogen kan uitzenden en zo de effectieve blootstelling door de User Equipment (UE) of telefoon kan minimaliseren;
3. MmWave propagatie zorgt ervoor dat er minder penetratie in het menselijk lichaam optreedt.

⁸ X. Gao, O. Edfors, F. Rusek and F. Tufvesson, "Massive MIMO Performance Evaluation Based on Measured Propagation Data," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 7, blz. 3899-3911, juli 2015.

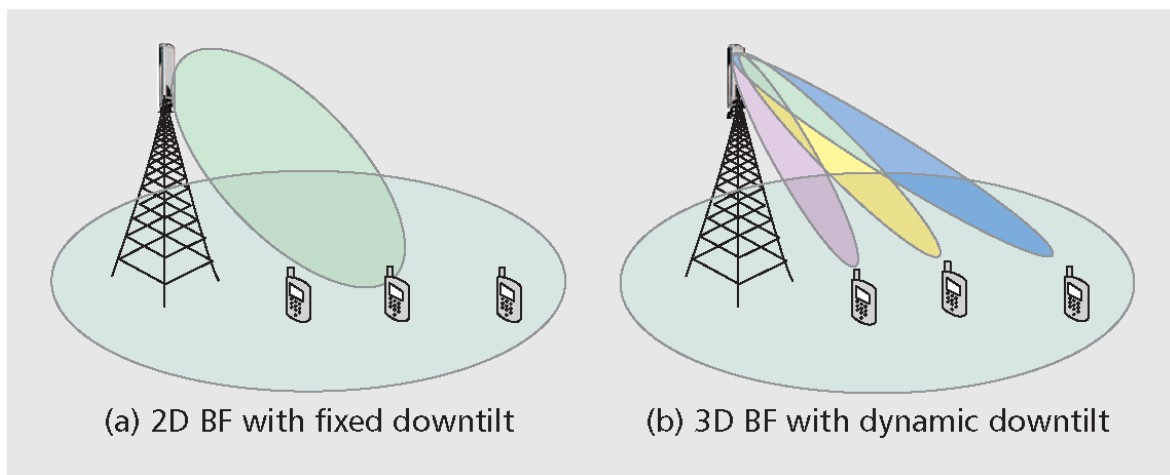
⁹ À. O. Martínez, E. De Carvalho and J. Ø. Nielsen, "Massive MIMO properties based on measured channels: Channel hardening, user decorrelation and channel sparsity," *2016 50th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, Pacific Grove, CA, 2016, blz. 1804-1808.

Hieronder geven we een overzicht van bevindingen uit de literatuur en lijsten we op wat we op basis van de huidige stand van zaken kunnen besluiten in verband met deze gevolgen van het meer spatiaal focussen van de straling, en het gebruik van hogere frequenties.

2.3.1 Statistische aanpak berekenen straling

Zoals geïllustreerd in figuur 4 reguleert een Massive MIMO basisstation de richting of locatie waar het ontvangen vermogen maximaal is. De analyse van blootstelling moet deze ruimtelijke variatie van de blootstelling in rekening brengen.

Bij traditionele cellulaire communicatiesystemen, met statische stralingspatronen, zal elke locatie een statische straling ondervinden, als we ervan uit kunnen gaan dat we in de meting van de straling ongecontroleerde kanaalvariaties voldoende uitmiddelen. Bij Massive MIMO of 3D beamforming wordt een stralingspatroon van een antenne dynamisch gecontroleerd, waardoor we pieken kunnen uitmiddelen over tijd. Als we uit kunnen gaan van een uniforme verdeling van de gebruikers in de cel, dan zal de straling ook uniform uitgespreid worden in die cel. Het gevolg is dat alle locaties nu, uitgemiddeld, een even sterk vermogen zien. In traditionele systemen zien vooral gebruikers dicht bij de mast een hoog vermogen voor alle signalen naar alle gebruikers, en is de vermogensdichtheid niet uniform of eerlijk verdeeld in de cel. Bij Massive MIMO wordt het mogelijk om het vermogen optimaal te richten naar de ontvanger. Als ontvangers uniform verdeeld zijn over een cel, zal ook de blootstelling aan straling uniform, dus eerlijk, verdeeld worden over een cel.



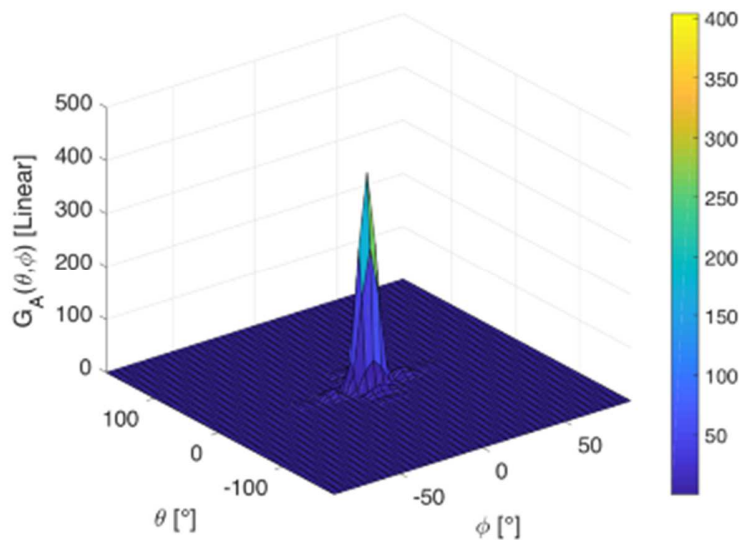
Figuur 5 - Illustratie van 3D beamforming en de invloed op antenne-tilt. Overgenomen uit [10].

¹⁰ X. Cheng *et al.*, "Communicating in the real world: 3D MIMO," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 21, no. 4, blz. 136-144, augustus 2014.

In de state-of-the art worden een aantal methodes aangereikt voor het berekenen van de straling voor realistische scenario's waar locaties van ontvangers niet perfect willekeurig is, en ook niet alle ontvangers evenveel data ontvangen. Een belangrijke reden is het feit dat het vermogen uitgemiddeld moet worden over een interval van 6 minuten, wat relatief lang is. Een gebruiker zal nooit 6 minuten lang effectief actief zijn, omdat de meeste datamodellen ervan uitgaan dat gebruikers het draadloze medium kort en sporadisch gebruiken. Het gevolg is dat de sterke piek die Massive MIMO kan creëren naar 1 gebruiker over die 6 minuten uitgemiddeld dient te worden over meerdere gebruikers of pieken. Om blootstelling te meten, moeten dus niet enkel propagatie- en antennekarakteristieken in rekening gebracht worden, maar ook data-modellen. Omdat gebruikers in principe moeilijk te voorspellen zijn, is het dus ook niet evident om relevante modellen voor te stellen voor typische patronen voor de positie van gebruikers en de intensiteit van hun data gebruik.

In [11] wordt een typische 'averaged array gain' berekend voor verschillende scenario's, die we hieronder kort weergeven.

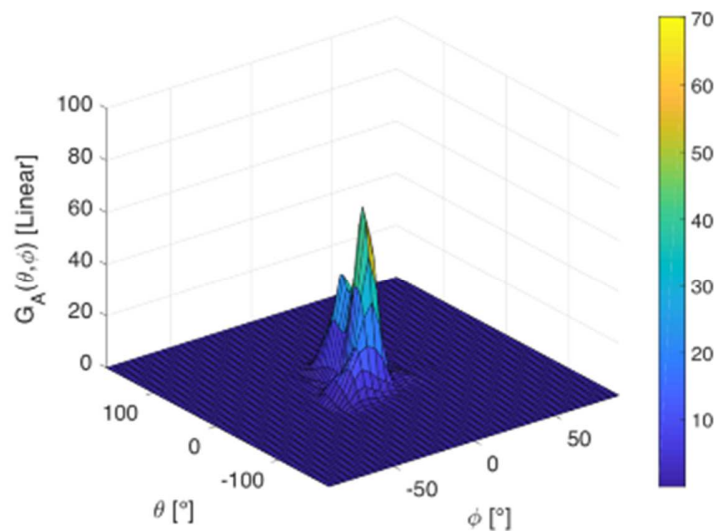
In een eerste scenario is er geen uitmiddelen in de tijd, en gaat men ervan uit dat alle antennes van de Massive MIMO basestation ingezet worden om een enkele gebruiker die actief is voor een volledige periode van 6 minuten te bedienen. Het stralingspatroon van het basisstation wordt in dit geval voorgesteld in figuur 6. Dit is echter geen realistisch stralingspatroon, daar het gebaseerd is op de onrealistische veronderstelling dat een enkele gebruiker de cel domineert en alle data in de cel opgebruikt.



Figuur 6 - Array gain voor het niet realistische geval waar 1 gebruiker in een cel gedurende 6 minuten de enige actieve gebruiker is. Een piekvermogen wordt gecreëerd in een richting [9].

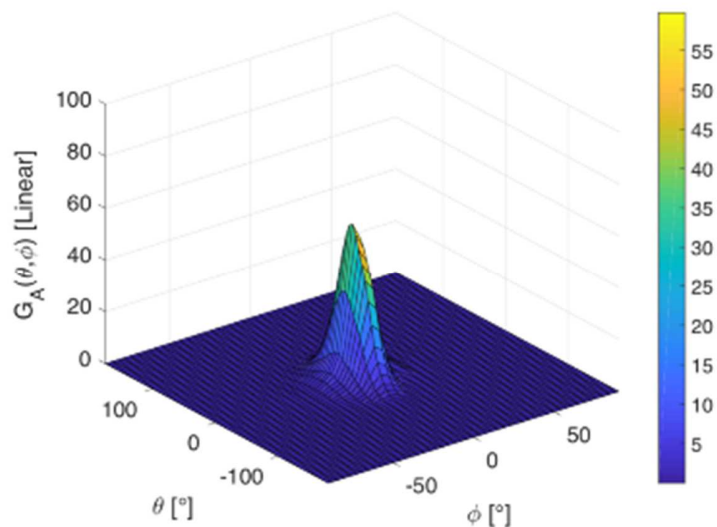
¹¹ P. Baracca et al. "A Statistical Approach for RF Exposure Compliance Boundary Assessment in Massive MIMO systems," <https://arxiv.org/pdf/1801.08351.pdf>

In dit geval is er geen multi-user Massive MIMO en kunnen we de cell capaciteit niet verhogen door gebruik te maken van spatiaal multiplexen. In realiteit wordt de beschikbare capaciteit in een cel gedeeld tussen de verschillende gebruikers, die zich vaak op verschillende plaatsen bevinden. Het is dus meer realistisch om een gemiddeld stralingspatroon te berekenen dat meerdere gebruikers en locaties in rekening brengt. Figuur 7 becijfert de situatie waar 6 gebruikers elk de capaciteit van de cel toebedeeld krijgen voor 60 seconden. Dit resulteert in een meer gemiddeld stralingspatroon, dat echter nog duidelijke pieken vertoont in de richting van de locatie van de 6 gebruikers. Figuur 8 becijfert dan de situatie waar 5 gebruikers telkens actief zijn voor 1 seconde. Over 6 minuten middelen we dus in totaal $5 \cdot 60 \cdot 6$ posities uit. Het gevolg is een regulier stralingspatroon met een duidelijke piek.



Figuur 7 - Array gain voor het geval waar 6 gebruikers elk actief zijn gedurende 1 minuut. De gemiddelde array gain is dus de array gain naar elk van die 6 gebruikers uitgemiddeld. Het gevolg is dat de piek beduidend lager is dan in het vorige niet realistische geval. Dit stralingspatroon heeft echter nog duidelijke pieken die afhangen van de specifieke locatie van de 6 gebruikers in dit experiment, en is niet voldoende representatief voor alle locaties om algemene conclusies uit te kunnen trekken [9].

Op basis van de analyse van de gemiddelde array gain voor verschillende scenario's, is de conclusie van de auteurs dat in het geval van 1 gebruiker per cel voor 6 minuten, in 95% van de gevallen een vermogen ervaren wordt dan slechts 26% is van het geval voor een traditionele cell, en in 99% van de gevallen is dit vermogen slechts 33% van het typische vermogen. Een verhoging van het vermogen met een factor 3 lijkt dus te motiveren, zonder effectieve verhoging van de blootstelling, net omdat er minder vermogen wordt 'verkwist'. Voor de scenario's waar er meerdere gebruikers actief zijn, zijn nog hogere factoren mogelijk.



Figuur 8 - Gemiddelde array gain voor het geval dat 5 gebruikers actief zijn telkens gedurende 1 seconde. Het gevolg is een sterk uitgemiddelde array gain, met een zeer regelmatige vorm. Dergelijk uitgemiddeld stralingspatroon dat gebaseerd is op voldoende uitmiddelen van mogelijke situaties kan een goede manier zijn om Massive MIMO systemen te analyseren [9].

Een tweede studie in [12] komt tot hetzelfde besluit. Zij gebruiken een statistische methode die multi-user Massive MIMO modelleert als een 3D uitmiddelen van bundels naar meerdere gebruikers. Zelfs voor een hoog datagebruik in een cel besluiten ze dat 95% van de locaties een vermogen zien dat een factor 4 lager is dan wat we zouden verwachten in een typisch 4G systeem.

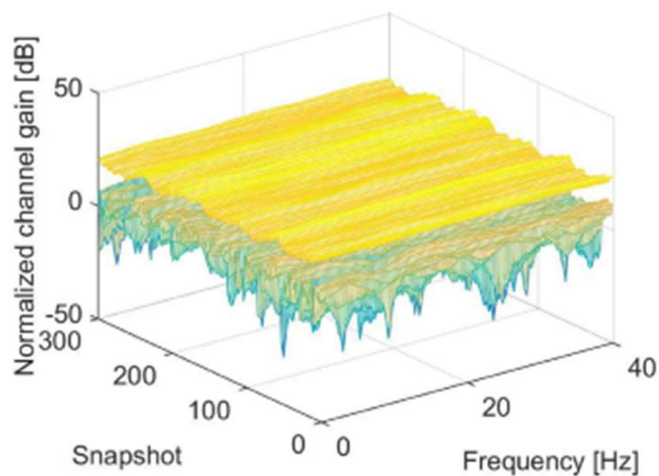
Op dit ogenblik is er echter nog geen algemene richtlijn die vastlegt hoe Massive MIMO straling effectief gemodelleerd en gereguleerd moet worden, ook al worden verschillende berekeningsmethodes aangereikt in de literatuur. Er wordt echter wel aandacht aan besteed op internationaal vlak en er wordt verwacht dat er snel een richtlijn en methode komt. Het voorstel van het comité is om zoveel mogelijk internationale richtlijnen te volgen.

2.3.2 Verbetering van het link budget door ‘channel hardening’

Wanneer gebruik gemaakt wordt van Massive MIMO, of een groot aantal antennes aan het basisstation, kan de sterkte van het signaal dat ontvangen wordt door de ontvanger significant verbeteren. Eerst en vooral is er de ‘array gain’ waardoor een verhoging van het vermogen wordt bereikt dat proportioneel is met het aantal antennes. 100 antennes geeft dus een ‘array gain’ van 20dB. Die array gain wordt geïllustreerd in figuur 9 waar een 128-array duidelijk een hoger gemiddeld vermogen geeft aan de ontvanger, voor een zelfde totaal uitgestuurd vermogen. Er wordt gewoon minder vermogen verkwist in de omgeving. Daarnaast is er ook de ‘channel hardening gain’ wat betekent dat de statistische variaties

¹² B. Thors, A. Furuskär, D. Colombi and C. Törnevik, "Time-Averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations Using Massive MIMO," in *IEEE Access*, vol. 5, blz. 19711-19719, 2017.

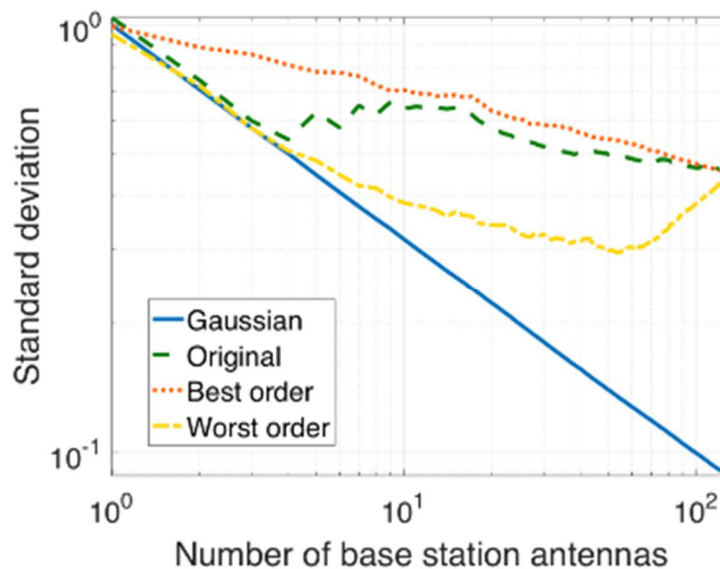
van de kwaliteit van de link significant verminderd worden bij het gebruik van Massive MIMO. Dit is zichtbaar in het gele oppervlak in figuur 9, dat aanzienlijk vlakker is dan het groene oppervlak dat het kanaal weergeeft voor een antenne. Daardoor verminderen tijdelijke dips in het kanaal, waardoor de link als significant beter ervaren wordt. Het is dan ook niet meer nodig om 'worst case power margins' toe te passen. Het wordt in andere woorden mogelijk om de kwaliteit van het kanaal aan de ontvanger preciezer in te schatten.



Figuur 9 - De invloed van Massive MIMO op het link budget, of de signaalsterkte van het ontvangen signaal aan de kant van de ontvanger, is groot. Het ontvangen signaal wordt gemiddeld sterker, maar ook de variatie wordt kleiner. Deze 'channel hardening' is opgemeten voor een Massive MIMO systeem met 128 antennes. Geel is het Massive MIMO kanaal, en groen het kanaal voor de beste antenne. Het is opvallend hoe het gele vlak hoger ligt en vlakker is [overgenomen uit 12].

De 'array gain' en 'channel hardening gain' is van toepassing zowel in de uplink als de downlink. Het gevolg is dat ook het kanaal van de UE of gebruiker naar het basisstation beter wordt. Daardoor kan de terminal ook een 20-30dB lager vermogen uitsturen, dankzij de array gain en channel hardening gain. **Dit heeft belangrijke gevolgen voor de effectieve blootstelling van de actieve gebruiker aan de straling van het eigen toestel, die een factor 100 tot 1000 lager kan liggen voor eenzelfde hoeveelheid data.** We geven hier nog mee dat straling van het toestel typisch domineert wanneer blootstelling aan straling voor actieve gebruikers berekend wordt, daar het uitgestuurde vermogen door de telefoon soms wel 30dBm is, terwijl het ontvangen vermogen van het basisstation vaak slechts -70 tot -100dBm is (een verschil van 100 dB geeft een vermogen dat een factor 10.000.000.000 lager is).

Meer onderzoek is nodig om te begrijpen of de 'channel hardening gain' in alle situaties, dus ook line-of-sight of andere specifieke situaties van toepassing is. Een eerste experimentele studie in [13] voor een 'indoor Massive MIMO setup' bevestigt dat er sterke 'channel hardening' is, omdat de variatie van het kanaal gezien door de array kleiner wordt. Echter, de 'hardening' gemeten in de realiteit is minder sterk dan de 'hardening' verwacht in theorie. Of, zoals in figuur 10 geïllustreerd, de standaardafwijking gemeten in de praktijk is inderdaad kleiner als er meerdere antennes gebruikt worden, maar de daling is minder uitgesproken dan verwacht op basis van een theoretisch model.



Figuur 10 - Standaardafwijking van de kanaalversterking als functie van het aantal antennes in het basisstation. In het ideale theoretische scenario wordt die variatie kleiner in functie van het aantal antennes. De meting toont aan dat de variatie effectief daalt, maar trager dan in het ideale theoretische scenario. In elk geval is dit hoopgevend, want dit toont aan dat het kanaal in een Massive MIMO system meer voorspelbaar is, waardoor een lager vermogen voor de terminal mogelijk wordt [figuur overgenomen uit 12].

¹³ S. Gunnarsson, J. Flordelis, L. Van der Perre and F. Tufvesson, "Channel Hardening in Massive MIMO-A Measurement Based Analysis," *2018 IEEE 19th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, Kalamata, 2018, blz. 1-5.

2.3.3 mmWave blootstelling

De uitrol van 5G in de mmWave banden wordt nog niet direct verwacht, omdat de technologie nog niet performant is [14] en ook op vlak van spectrum regelgeving de mmWave banden nog niet klaar zijn voor in gebruik nemen. Toch valt niet uit te sluiten dat deze banden op termijn in gebruik genomen zullen moeten worden, om aan de stijgende vraag naar capaciteit en connectiviteit te blijven voldoen. Op hogere frequenties is het mogelijk om een aantal Gigahertz aan bandbreedte (B uit figuur 4) te voorzien. Het is daarom belangrijk om nu al in kaart te brengen hoe de ordonnantie in de toekomst aangepast zal moeten worden als communicatie in mmWave banden zal gebruikt worden.

Een eerste aspect is gerelateerd aan het 'statistisch en ruimtelijk uitmiddelen' van de straling omdat bij mmWave gebruik gemaakt wordt van antennes met een zeer grote oppervlakte (ten opzichte van de golflengte) die dus heel directief zijn en smalle bundels sturen. Omdat die statische aanpak reeds besproken was in 3.1 gaan we er hier niet dieper op in.

Een tweede aspect is gerelateerd aan de specifieke propagatie van deze hoog frequente golven. Omdat mmWave antennes klein zijn, kunnen ze slechts een kleine hoeveelheid vermogen ontvangen. Er moet dus meer vermogen verstuurd worden om te kunnen garanderen dat er voldoende vermogen ontvangen wordt voor succesvolle datacommunicatie. Bovendien zijn deze golven zeer gevoelig aan obstakels, bijvoorbeeld het menselijk lichaam is typisch een 'blocker' voor deze stralen [15]. Het gevolg is ook dat het grootste deel van het vermogen op deze frequenties gereflecteerd wordt door de huid. In [16] geven simulaties weer dat 34% tot 42% van het vermogen van een 60 GHz signaal gereflecteerd wordt door de huid.

2.4 Besluit

5G is nodig om de stijgende vraag naar meer capaciteit te beantwoorden. 5G brengt een aantal technische innovaties, die het mogelijk maken om aan de capaciteitsvraag te blijven voldoen. Essentieel moet hiervoor echter de hoeveelheid spectrum (B), het aantal antennes (n) en ook het uitgestuurde vermogen verhoogd kunnen worden.

¹⁴ <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/wireless/verizons-5g-rollout-experiences-a-mixed-bag-so-far>, geraadpleegd op 8 maart 2019.

¹⁵ C. Slezak, V. Semkin, S. Andreev, Y. Koucheryavy and S. Rangan, "Empirical Effects of Dynamic Human-Body Blockage in 60 GHz Communications," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 12, blz. 60-66, december 2018.

¹⁶ T. Wu, T. S. Rappaport and C. M. Collins, "The human body and millimeter-wave wireless communication systems: Interactions and implications," *2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, London, 2015, blz. 2423-2429.

Om optimaal meer spectrum (B) en meer antennes (n) te kunnen benutten, biedt 5G een aantal nieuwe technologieën aan:

- mmWave technologie maakt het mogelijk om de grote hoeveelheid spectrum op hoge frequenties te benutten (B)
- Massive MIMO maakt het mogelijk om veel antennes te plaatsen op eenzelfde locatie (n)

Beide technologieën vereisen echter een herziening van de berekeningswijze van de straling in de wetgeving, rekening houdend met het spatiaal effect van zowel Massive MIMO als mmWave communicatie.

3 Gevolgen voor de gezondheid

Al meer dan twee decennia lang wordt door veel academische en onafhankelijke laboratoria wetenschappelijk onderzoek verricht om de mogelijke effecten van radiofrequentievelden (RF) op de menselijke gezondheid te beoordelen. Dat onderzoek maakte gebruik van vele soorten aanvullende studies: *in vitro* studies op in het laboratorium gekweekte cellen, *in vivo* studies op modeldieren, klinische studies op vrijwilligers en epidemiologische studies. Over de belangrijkste resultaten van deze studies zijn talrijke collectieve, nationale en internationale deskundigenrapporten opgesteld, waarvan de meest recente [1, 2] reeds werden samengevat en besproken in het rapport 2015-2016 en in het rapport 2017-2018 van het comité van deskundigen inzake niet-ioniserende straling in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Dit hoofdstuk richt zich op de meest recente collectieve expertiseverslagen en geeft een niet-uitputtend overzicht van belangrijk wetenschappelijk onderzoek dat zeer recentelijk is gepubliceerd.

3.1 Wetenschappelijke studies

De beoordeling van het risico van blootstelling aan elektromagnetische velden in het algemeen en RF-velden in het bijzonder wordt geconfronteerd met tegenstrijdige studies en resultaten: sommige studies tonen effecten aan, maar andere 'vergelijkbare' studies juist niet. De heterogeniteit van de resultaten is bijzonder moeilijk te interpreteren voor niet-wetenschappers, zowel voor het publiek als voor de politiek, die duidelijke antwoorden willen over het gevaar van RF-golven (RF-golven zijn gevaarlijk voor de gezondheid / RF-golven zijn niet gevaarlijk voor de gezondheid).

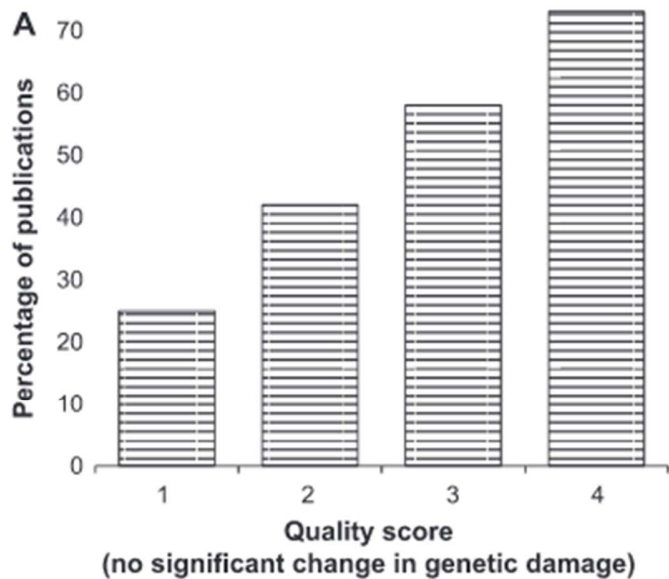
In alle collectieve deskundigenrapporten worden kwaliteitscriteria gehanteerd om te bepalen welke wetenschappelijke studies in de beoordeling worden opgenomen. Publicaties die niet aan deze criteria voldoen, worden derhalve uitgesloten. De studies die van de collectieve analyse zijn uitgesloten vanwege een gebrek aan wetenschappelijke kwaliteit, rapporteren vaak biologische effecten in kweekcellen of bij dieren. In 2016, na talrijke collectieve deskundigenrapporten en herhaaldelijke opmerkingen van antigolfverenigingen over het ontbreken van publicaties die zij als 'significant' beschouwen in deze rapporten, werden in 2016 aanbevelingen gepubliceerd voor de uitvoering van kwaliteitsvolle studies en publicaties over de biologische en toxicologische effecten van RF-velden [3].

Vervolgens hebben twee reviews deze aanbevelingen gebruikt en de relatie tussen het aantal kwaliteitscriteria in een onderzoek en de resultaten van het onderzoek onderzocht [4, 5]. Deze analyses gaan verder dan de zeer heterogene protocollen en houden alleen rekening met het resultaat: effect/geen effect. Onderstaande figuur geeft een samenvatting van de analyse van Vijayalaxmi & Prihoda, 2019 [5], die 4 kwaliteitsindices in aanmerking namen:

- 1) *blinde* experimenten of analyses: de experimentator weet niet of het staal dat hij behandelt of analyseert, de blootgestelde staal is of niet;

- 2) correcte *dosimetrie* van de RF-blootstelling: de blootstelling van de cellen wordt ideaal gekarakteriseerd met simulatie of experimentele metingen (elektrische veld of temperatuur verhoging) om het "*Specific absorption rate*" (SAR) niveau vast te stellen;
- 3) aanwezigheid van *positieve controles* : nagaan of het biologische systeem in staat is om te reageren op een bekende stimulatie en resultaten geeft die overeenstemmen met de hypothese en dat de gebruikte techniek zoals verwacht, werkt.
- 4) sham of schijnblootstelling: Vergelijking in alle opzichten, behalve bij RF-blootstelling, dat de omstandigheden van de celverwerkingen in relatie tot RF-blootstelling (verandering van zaal, incubator, introductie van het staal in het blootstellingssysteem) geen effect hebben op de bestudeerde parameters.

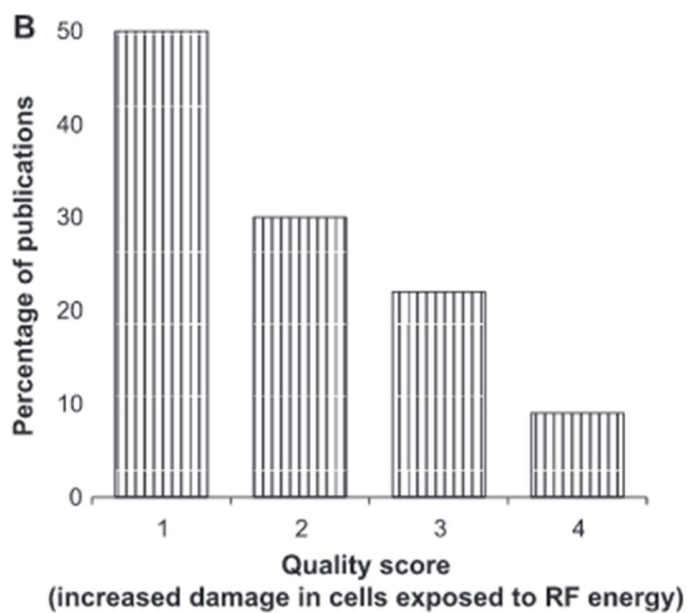
De biologische parameters van belang zijn de genetische laesies (DNA-laesies, 53BP1-foci of gamma-H2AX-markers van dubbelstrengs DNA-breuken, micronuclei, chromosoomafwijkingen, uitwisseling van zusterchromatiden, mutaties) bestudeerd in 225 artikelen, met een totaal van 2160 testen op kweekcellen of dieren. Uit het onderzoek blijkt dat naarmate het aantal kwaliteitscriteria toeneemt, het percentage studies dat genetische schade aantoonst (positieve studies) daalt. Dezelfde correlatie bestaat voor de amplitude van het effect.



Figuur 11 van Vijayalaxmi & Prihoda, 2019 [5]

A: Percentage gepubliceerde studies waarin geen significant verschil wordt gerapporteerd in het niveau van genetische schade tussen aan RF blootgestelde cellen en controlecellen, in functie van het aantal kwaliteitscriteria: één, twee, drie of vier kwaliteitscriteria (blind, dosimetrie, positieve controles, schijnblootstelling (controlegroep)).

De gegevens wijzen op een positieve correlatie tussen beide indices.



B: Percentage gepubliceerde studies waarin een toename van de genetische schade wordt vastgesteld in aan RF blootgestelde cellen ten opzichte van controlecellen, in functie van het aantal kwaliteitscriteria: één, twee, drie of vier kwaliteitscriteria (blind, dosimetrie, positieve controles, schijnblootstelling (controlegroep)). De gegevens wijzen op een negatieve correlatie tussen beide indices.

Simko et al 2016 [4] hebben dezelfde kwaliteitscriteria gebruikt, plus:

- 5) *temperatuurcontrole* : RF-blootstelling induceert een verwarming die evenredig is met het SAR-niveau, die wordt gecompenseerd door middel van een thermostaat (lucht- of watercirculatie) of vergeleken met een gelijkwaardige conventionele verwarming.

De auteurs hebben 483 *in vitro* experimentele resultaten bekeken van 104 artikelen over twee andere biologische parameters: apoptose (geprogrammeerde celdood) en celcyclus-/proliferatie (en de combinatie van beide). De conclusies van deze auteurs zijn vergelijkbaar: ze tonen een negatief verband aan tussen de observatie van cellulaire effecten en het aantal kwaliteitscriteria in de studies. Slechts 2% (2 op 109) van de studies van de hoogste kwaliteit (5 kwaliteitscriteria aanwezig) tonen effecten op cellulair niveau aan. Het is interessant om op te merken dat deze twee studies hetzelfde blootstellingssysteem en dezelfde nauwe blootstellingsniveaus (1,3 en 2 W/kg) gebruiken, maar helaas kunnen er geen duidelijke conclusies aan worden verbonden. In één studie werd de inductie van apoptose (geprogrammeerde celdood) in primaire neuronen van ratten, gemedieerd door de inductie van *Apoptosis-inducing factors* (AIF), maar niet van caspase 3, waargenomen, terwijl in de andere studie de activering van caspase 3 werd waargenomen in de proliferatie van menselijke lymfocyten zonder inductie van apoptose; de informatie is daarom relatief inconsistent en verdere studies zijn ervoor nodig.

Deze gegevens benadrukken een van de bijzonderheden van het bio-elektromagnetische onderzoek, een interdisciplinair onderzoek dat, vanwege de interface, veel mogelijke artefacten moet beheeren. Wanneer bijvoorbeeld een mannelijke rat enkele uren in een plastic kooi wordt vastgehouden om hem aan RF bloot te stellen, kunnen de histologische laesies die in de testikels worden waargenomen zowel het resultaat zijn van intense mechanische stress als van blootstelling aan RF. Wanneer de controledieren niet even lang worden vastgehouden als de blootgestelde dieren, wordt gezegd dat een dergelijke studie 'niet informatief' is omdat de verwarrende factor van de mechanische stress het onmogelijk maakt om conclusies te trekken over het effect van RF.

We kunnen kortom stellen dat het opnemen van ten minste vier kwaliteitscriteria (blindheid, dosimetrie, positieve controles, schijnblootstelling) in biologische studies een belangrijke voorwaarde is om te garanderen dat de verkregen gegevens nuttig kunnen zijn voor de beoordeling van de gezondheidsrisico's als gevolg van blootstelling aan RF.

3.2 Wat zal 5G veranderen in de interacties tussen golven en organismen?

De toewijzing van 5G-frequenties zal waarschijnlijk van land tot land verschillen. Niettemin zal de behoefte aan een brede dekking, in combinatie met de behoefte aan een zeer hoge bandbreedte, leiden tot het gebruik van verschillende frequentiebereiken: (i) onder 1 GHz; (ii) tussen 1 en 6 GHz; (iii) 26 en/of 28 GHz; (iv) 40 en/of 66-71 GHz. Deze toename van de frequentie betekent dat de energie verbonden met het foton ook zal toenemen, maar dat de golf minder diep in het organisme zal doordringen.

Wat de energie die verbonden is met de fotonen betreft, zelfs voor de hoogste frequenties van 5G (rond 70 GHz) blijft bijna 100.000 keer lager dan het niveau dat nodig is om biologische moleculen te ioniseren¹⁷. We blijven dus op het gebied van niet-ioniserende golven, met energieën die ook ontoereikend zijn om de energiearme bindingen die de interacties tussen biologische moleculen in de cellen regelen, te breken. Net als bij de radiofrequente golven die momenteel worden gebruikt in de telefonie, kunnen deze hogere frequenties echter de rotatie van vrije dipoolmoleculen veroorzaken, wat tot weefselverwarming leidt. Deze thermische effecten treden op bij blootstelling aan hoge invallende vermogensdichtheden (meer dan 10 mW/cm²), die hoger zijn dan de huidige normen (toepassingen voor de consument mogen niet meer dan 1 mW/cm² bedragen). De regelgeving beschermt ons dus tegen deze thermische effecten.

Voor hoge frequenties betekent een lage penetratie in het lichaam een zeer lokale absorptie van energie, voornamelijk door de huidweefsels. Deze lokale absorptie van het elektromagnetische veld resulteert in relatief hoge specifieke absorptiesnelheden (SAR's), zelfs voor vermogensdichtheidswaarden onder de grenswaarden. Voor deze hogere frequenties gaan we dus een verandering in de doelweefsels zien. Bijvoorbeeld: bij 66-71 GHz zullen de hersenen niet langer worden bereikt door deze golven en zal alle absorptie plaatsvinden in de bovenste lagen van de huid. In verband met de controverse over het mogelijke verband tussen blootstelling aan RF en de ontwikkeling van hersenkankers, kan deze situatie als veiliger worden beschouwd. We mogen echter niet vergeten dat de huid bloedvaatjes en zenuwuiteinden bevat. Dit weefsel kan dus via de secretie van factoren of via het perifere zenuwstelsel communiceren met het hele lichaam. Daarom moet in de nabije toekomst de mogelijkheid van een systemische reactie worden bestudeerd, d.w.z. een globale fysiologische reactie op een blootstelling van de huid.

Met betrekking tot de biologische effecten van 5G kan worden verwacht dat de laagste frequenties (onder 1 GHz of tussen 1 en 6 GHz) dezelfde effecten zullen hebben als de radiofrequenties van 2G, 3G en 4G. De wetenschappelijke literatuur over dit onderwerp is door verschillende instanties in Europa onderzocht. De Europese Unie via haar Wetenschappelijk Comité voor nieuwe gezondheidsrisico's [1], het ANSES in Frankrijk [2] en de Zweedse instantie voor stralingsbescherming [6, 7] komen tot vergelijkbare conclusies. *In vitro* en *in vivo* studies komen tot heterogene resultaten, maar in de meeste gevallen werden geen reproduceerbare schadelijke effecten waargenomen. In sommige studies zijn effecten op bepaalde

¹⁷ Als herinnering, wordt gezegd dat een elektromagnetische golf ioniserend is wanneer de energie verbonden aan de golf voldoende hoog (groter dan 10 elektronenvolt) is om een elektron uit de buitenste laag van atomen te kunnen verwijderen. Dit is het geval voor röntgen- of gammastralen, maar niet voor zichtbare, infrarode of radiofrequente stralen, die minder energie zijn.

parameters zoals oxidatieve stress gerapporteerd, maar deze effecten zijn vaak beperkt en van voorbijgaande aard. Daarnaast lijkt het gebruikte biologische model een belangrijke rol te spelen bij het opsporen van het effect en zijn de mechanismen die een dergelijk effect kunnen verklaren nog niet bekend.

Voor de hoogste frequenties van 5G (26-28 GHz; 40 GHz en 66-71 GHz) zijn tot nu toe weinig studies uitgevoerd. Aangezien de exacte signalen en apparaten die deze frequenties gebruiken, nog niet gedefinieerd en in gebruik zijn, is het normaal dat er nog geen epidemiologisch onderzoek beschikbaar is. Er zijn echter al enkele *in vitro* en *in vivo* studies uitgevoerd. In 2012 heeft het ANSES deze studies geanalyseerd in het kader van een beoordeling van de gezondheidsrisico's van lichaamsscanners die millimetergolven van ongeveer 24 GHz gebruiken [8]. Dat verslag onderlijnt dat de meeste biologische effecten zijn waargenomen met blootstellingsniveaus die de aanvaarde normen overschrijden. Bij deze vermogensniveaus veroorzaakt blootstelling lokale verwarming en is het moeilijk om zuivere elektromagnetische effecten te onderscheiden van thermische effecten. Voor lage vermogensniveaus, dicht bij de waarden die te verwachten zijn tijdens telecommunicatietoepassingen, konden tijdens deze experimenten geen gezondheidseffecten worden aangetoond [9]. Hoewel deze resultaten geruststellend zijn, mogen we niet vergeten dat we op basis van de momenteel beschikbare gegevens geen conclusies kunnen trekken over risico's op lange termijn of het bestaan van specifieke individuele gevoeligheden.

3.3 NTP-studie (National Toxicological Programme)

Het lijkt ons belangrijk om de resultaten van de laatste Amerikaanse carcinogenese studie te bespreken, die meer dan 30 miljoen dollar kost en die door de auteurs werd voorgesteld als “de grootste studie over de carcinogene effecten van radiofrequenties”. De resultaten van deze studie werden aan het publiek gepresenteerd in een voorlopig verslag, een intern verslag en een eindverslag na overleg met een comité van externe deskundigen. Deze geschiedenis van het beheer van de wetenschappelijke resultaten, die hieronder meer in detail wordt gepresenteerd, heeft tot grote verwarring geleid over welke boodschap uit deze studie moest worden behouden.

Elke fase, vergezeld met een officieel advies van het Amerikaanse instituut dat belast is met de studie (het nationale toxicologische programma), kreeg veel aandacht in de media en werd door de pers en verenigingen over-geïnterpreteerd.

De zogenaamde ‘NTP-studie’ is een toxicologische en carcinogenesestudie over chronische blootstelling van het hele lichaam aan radiofrequentiegolven van mobiele telefonie bij ratten en muizen. Het National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) heeft deze studie gefinancierd in het kader van het National Toxicological Programme (NTP) tussen 2010 en 2014. Het NTP heeft deze studies uitgevoerd in overeenstemming met de gezondheids- en veiligheidsrichtlijnen en de goede praktijken van het laboratorium van de Food and Drug Administration (FDA). De verzorging en het gebruik van de dieren zijn in overeenstemming met het beleid en de ethiek van de volksgezondheidsdiensten. In mei 2016 werden gedeeltelijke resultaten van de studie beschikbaar gesteld in de vorm van een voorlopig rapport [9]. De

volledige studies werden onderworpen aan retrospectieve kwaliteitsborgingsaudits. De volledige NTP-rapporten voor de rat- [11] en muisstudies [12] zijn op 2 februari 2018 op het internet beschikbaar gesteld en zijn sinds maart 2018 openbaar te raadplegen. Een groep externe deskundigen heeft vervolgens de volledige resultaten van de NTP-studie beoordeeld en een advies uitgebracht dat in verschillende opzichten verschilt van het NTP-advies. Het NTP heeft uiteindelijk het advies van de groep externe deskundigen aanvaard en als definitief advies overgenomen. De gecorrigeerde eindrapporten zijn op 1 november 2018 vrijgegeven.

In deze NTP-studie werden mannelijke en vrouwelijke ratten en muizen blootgesteld aan intermitterende emissies van het type GSM (mobiel systeem in Europa) en CDMA (mobiel systeem in de Verenigde Staten), aan 900 MHz voor de ratten en 1900 MHz voor de muizen. De dagelijkse blootstelling bedroeg 9 uur over een periode van 18 uur (10 minuten 'AAN', 10 minuten 'UIT'), 7 dagen per week. Voor beide soorten werkte het onderzoek met twee groepen: een groep van 28 dagen en een groep van 2 jaar. De blootstellingen werden uitgevoerd zoals weergegeven in de volgende tabel, met de gemeenschappelijke controlegroep (0 W/kg) voor de twee blootstellingswijzen voor elke soort.

Tabel 1 - Blootstellingen van ratten en muizen in het NTP-onderzoek

RAT – 900 MHz GSM/CDMA		MUIS – 1900 MHz GSM/CDMA		ICNIRP / EU
Blootstelling vanaf 6 dagen zwangerschap		Blootstelling vanaf een leeftijd van 5 à 6 weken		Grenswaarde voor blootstelling van het publiek
28 dagen geboorte)	(na Volledige levenspan (2 jaar)	28 dagen	Volwassen leven (2 jaar)	Volledige levenspan
0 W/kg	0 W/kg	0 W/kg	0 W/kg	0,08 W/Kg
3 W/kg	1,5 W/kg	5 W/kg	2,5 W/kg	
6 W/kg	3 W/kg	10 W/kg	5 W/kg	
9 W/kg	6 W/kg	15 W/kg	10 W/kg	

Voor elke soort waren er dus 7 groepen van elk geslacht: één controlegroep en 3 groepen op een verschillend SAR-niveau en twee soorten modulatie (GSM of CDMA).

De 2-jarige studie had betrekking op ongeveer 100 dieren per groep. De auteurs gingen er namelijk van uit dat de waargenomen effecten onder RF-blootstelling waarschijnlijk gering zouden zijn. Om die reden werd het aantal dieren per groep verdubbeld in vergelijking met het aantal dieren dat gewoonlijk wordt gebruikt in carcinogenesestudies bij het NTP. Er werd een volledige histologische studie uitgevoerd om elk type

tumor bij de dieren op te sporen en er werden genotoxicologische analyses uitgevoerd op bloed-, hersen- en levercellen.

De resultaten van het onderzoek bevestigen dat de hittetolerantie afneemt met de grootte van het dier, die toeneemt met de leeftijd. In de groepen van "28 dagen" is vastgesteld dat boven de 6 W/kg volledig lichaam bij ratten de overleving van pasgeborenen afneemt en dat het gewicht van de ratjes afneemt vanaf de lactatieperiode (en tot 14 weken voor de 2-jarige studie). Ten slotte werd ook een afname van het gewicht van de zwangere vrouwtjes waargenomen, vooral tijdens de lactatieperiode. Daarentegen overleefden alle muizen (blootgesteld op volwassen leeftijd) tot het einde van de 28-daagse studie. Het gemiddelde lichaamsgewicht van de mannelijke en vrouwelijke blootgestelde groepen was vergelijkbaar met dat van de controlegroepen. De kleinere gestalte van de muizen beperkt het opwarmende effect. Dit suggereert dat het de minder goed verdragen opwarming is die bij ratten tot de waargenomen effecten heeft geleid.

Bij ratten, de meest gevoelige soort, werd daarom gekozen voor 6 W/kg als de hoogste SAR-waarde voor het hele lichaam die over een lange periode kan worden toegepast zonder dat dit leidt tot hyperthermiesterfte tot op hoge leeftijd. Deze waarde is hoger dan de SAR-waarde voor het hele lichaam van 4 W/kg, die eerder werd geïdentificeerd als de acute blootstellingsdrempel voor leerstoornissen bij knaagdieren en primaten, en ruim boven de grenswaarde voor blootstelling van het hele lichaam van 0,08 W/kg. Ze ligt dicht bij de grenswaarde voor lokale blootstelling van 2 W/kg, d.w.z. de SAR-grenswaarde voor mobiele telefoons, maar voor een kleiner blootstellingsgebied, beperkt tot 10 g. Het is belangrijk op te merken dat de voorwaarden en gevarendrempels voor lokale blootstelling en blootstelling van het hele lichaam niet omzetbaar zijn. De waarden van 6 en 3 W/kg maken het daarom mogelijk te onderzoeken of er rond de vastgestelde gevarenniveaus voor acute blootstelling van het hele lichaam carcinogene risico's kunnen bestaan bij chronische blootstelling.

De belangrijkste feiten die uit deze studie naar voren komen voor de tweejarige groepen zijn de volgende:

Bij de **muizen** was er een toename van de overleving in de mannelijke groep bij 5 W/kg en een toename van kwaadaardige lymfomen bij vrouwtjes bij 2,5 en 5 W/kg (maar niet bij 10 W/kg). De incidentie van kwaadaardige lymfomen bij de vrouwelijke controlegroepen is echter laag in vergelijking met de gebruikelijke waarden van vorige controlegroepen. Dit is een vertekening waarmee rekening moet worden gehouden bij de analyse en interpretatie van de resultaten. DNA-laesies werden waargenomen in de frontale cortex bij mannetjes en in de leukocyten bij vrouwtjes blootgesteld aan CDMA-modulatie, maar niet bij GSM-modulatie. Deze effecten veroorzaakten geen tumoren bij de muizen.

Bij de **ratten** nam de overleving van de mannelijke controlegroepen af vanaf 75 weken, wat ongewoon kort is in vergelijking met vorige controles. Deze ratten bleken nierfalen te ontwikkelen, in tegenstelling tot groepen ratten blootgesteld aan RF, zonder duidelijke verklaring. Dit leidt tot problemen bij de interpretatie van de resultaten i.v.m. carcinogenese. Aangezien de incidentie van tumoren toeneemt met de leeftijd, moeten de verschillen in incidentie tussen de groepen gecorrigeerd worden met het verschil in overleving.

Er werd een toename van kwaadaardige hartschwannomen waargenomen bij mannelijke ratten (niet bij vrouwelijke), die significant was bij 6 W/kg voor CDMA-gemoduleerde RF (niet bij GSM). Hartziekte wordt ook waargenomen bij 3 en 6 W/kg bij mannetjes en vrouwtjes die aan GSM-modulatie zijn blootgesteld en bij 6 W/kg alleen bij mannetjes die aan CDMA-modulatie zijn blootgesteld. Er kan een verband bestaan tussen chronische intermitterende thermische overbelasting en cardiomyopathie als de warmtebestrijdingsmechanismen (vasodilatatie, verhoogde hartslag) de hartspier overbelasten.

Rekening houdend met alle resultaten en het advies van de groep van externe deskundigen concludeert het NTP het volgende:

- (i) Voor kwaadaardige hartschwannomen is er **duidelijk bewijs van carcinogeniteit** bij mannelijke ratten met CDMA-modulatie.
- (ii) Voor glioom is er **enig bewijs van carcinogeniteit** in vergelijking met de waargenomen incidentievariaties bij mannelijke ratten die aan GSM- en CDMA-signalen worden blootgesteld.
- (iii) Voor feochromocytoom is er **enig bewijs van carcinogeniteit** in vergelijking met de incidentievariaties bij mannelijke ratten die aan het GSM-signaal worden blootgesteld.

Het advies preciseert niet bij welke SAR-niveaus de effecten significant zijn, over het algemeen op het hoogste niveau van 6 W/kg bij ratten. Bovendien is er tot op heden geen fysiek bewijs voor een verschil tussen CDMA- en GSM-modulatie, noch is er enige fysiologische verklaring voor een verschil tussen mannetjes en vrouwtjes voor niet-hormoonafhankelijke tumoren.

Tot slot is het interessant op te merken dat de studie geen verschil in spermamobiliteit of -concentratie bij mannelijke knaagdieren heeft aangetoond. Deze resultaten bevestigen niet de resultaten van verschillende eerdere studies, die onlangs door Kesari en Agarwal zijn beoordeeld [13].

Als conclusie is deze studie met een aantal kwaliteitscriteria die in een dergelijke studie (bij knaagdieren) worden nagestreefd, met name uitstekende dosimetrie en grote groepen dieren (90 dieren/groep). Maar de tumoranalyse werd echter niet blindelings uitgevoerd en er was geen "kooicontrolgroep" die het probleem van nepblootgestelde (sham) dieren bij ratten had kunnen compenseren. Een "positieve controle" groep was niet echt denkbaar omdat er geen middelen bestaan die de incidentie van alle tumoren kunnen verhogen (de studie zocht naar veranderingen in het voorkomen van alle tumortypes).

De resultaten tonen aan dat sommige tumoren significant zijn toegenomen, maar deze resultaten zijn vertekend door een ongewoon lage overleving van de mannelijke controleratten (sham) en een ongewoon lage incidentie van sommige tumoren bij de vrouwelijke controlemuizen (sham) (hoewel er geen bewijs van kankerverwekkende effecten bij muizen is geleverd). De waargenomen verschillen tussen geslachten en soorten maken het niet mogelijk om een coherente verklaring van causaliteit te geven. Deze elementen ondersteunen geen robuust causaal verband tussen blootstelling en vastgestelde pathologieën.

In zijn laatste advies vermeldt het NTP het blootstellingsniveau waarop harttumoren verschijnen met de verklaring: "clear evidence that male rats exposed to high levels of radio frequency radiation (RFR) like that used in 2G and 3G cell phones developed cancerous heart tumors". Aan de andere kant wijzen de FDA en ICNIRP erop, zoals hierboven aangegeven, dat deze resultaten over het geheel genomen niet consistent zijn en dus niet direct te extrapoleren naar de mens, en dat bovendien het kwaadaardige hartschwannoom een uitzonderlijke tumor is bij de mens.

3.4 Effecten van radiofrequentie op EEG

In de literatuur over de biologische effecten van RF-velden is het enige biologische effect dat als reproduceerbaar wordt beschouwd een effect op het elektro-encefalogram (EEG). Dit is een biologisch en niet-gezondheidseffect omdat tot op heden geen gevolgen waargenomen zijn van de veranderingen in het EEG, geïdentificeerd zijn voor de slaap of enige pathologie. Hieronder volgt een samenvatting van de vele studies die over dit onderwerp zijn gepubliceerd. Een recensie van het onderwerp wordt ook gepubliceerd door Wallace en Selmaoui [69].

3.4.1 Effecten van RF op EEG in waaktoestand

Studies betreffende de effecten van radiofrequentievelden op het EEG in waaktoestand hebben een zekere consistentie aangetoond in het biologische effect dat overeenkomt met een verandering in het spectrale vermogen van de alfaband. Van de meeste studies die een verandering in alfaritme aantoonen, rapporteerden sommige een toename van het alfabandvermogen [14-27], andere een afname [28-34], terwijl nog andere geen effect aantoonen op het spectrale alfabandvermogen [35-40]. De reden waarom de alfaband anders reageert op RF-blootstelling is op dit moment nog onbekend. Het grootste probleem is waarschijnlijk het gebruik van verschillende opnamecriteria voor de deelnemers, verschillende experimentele protocollen, verschillende methoden en/of verschillende intensiteiten of frequenties, waardoor het moeilijker wordt om de gegevens te vergelijken.

Uit het literatuuroverzicht blijkt bijvoorbeeld dat de leeftijden van de deelnemers in de verschillende studies sterk uiteenliepen. De resultaten toonden verschillende reacties op RF-blootstelling aan tussen adolescenten, volwassenen en ouderen.

Andere verschillen tussen de studies betreffen de planning van de deelname van de proefpersonen, aangezien de sessies op dezelfde dag of met intervallen van een week konden plaatsvinden. Andere studies gaven niet aan of ze rekening hielden met bepaalde variabelen, zoals koffie-, alcohol-, drugs- en nicotineconsumptie, die potentiële storende factoren zijn. Er is namelijk aangetoond dat het verbruik van deze stoffen gecorreleerd is met de verandering in spectraal vermogen van de alfaband [41-49] en dat daar rekening mee moet worden gehouden. De opname van vrouwen in studies vereist dan weer bijzondere aandacht voor hun menstruatiecyclus. Hun opname in de studie moet namelijk worden beperkt tot de folliculaire fase van hun menstruatiecyclus, om elke interferentie met het EEG-ritme te vermijden. Het is aangetoond dat de luteale fase van de menstruatiecyclus het alfabandritme beïnvloedt [50-53]. Een correlatie tussen cortisolniveaus en veranderingen in het alfabandritme van het EEG is eveneens gerapporteerd [54, 55], wat suggereert dat cortisolniveaus moeten worden gecontroleerd als stressbiomarker, zoals in de studie van Ghosn et al. [32]. Sommige auteurs [18, 19] suggereren dat gepulseerde modulatie van het GSM-signaal nodig zou zijn om de wijziging van het EEG te bewerkstelligen, terwijl anderen [30, 37] geen verschil vinden tussen blootstelling aan een continu of gepulseerd GSM RF-signaal. Daarnaast zijn er methodologische verschillen tussen studies, zoals het gebruik van de telefoonpositie en de resulterende SAR, of de duur van de blootstelling, die varieert van enkele minuten [29, 35] tot bijna een uur [16]. Al deze verschillen maken vergelijkingen moeilijk om de potentieel bepalende factor in het effect van radiofrequenties op het EEG vast te stellen.

In ieder geval lijkt dit biologische effect geen gevolgen te hebben voor de gezondheid. De toename van het spectrale vermogen van de alfaband werd vastgesteld in een ontspannen waaktoestand met gesloten ogen, terwijl de afname ervan gerelateerd is aan dataverwerking, aandacht of waakzaamheid. Dit zijn dus fysiologische verschijnselen zonder gevolgen voor de gezondheid. Daarom is er tot nu toe geen verband vastgesteld tussen de verandering in spectraal vermogen van de alfaband en pathologieën.

3.4.2 Effecten van RF op slaap-EEG

Met betrekking tot de slaap hebben verschillende studies de effecten van blootstelling aan RF op het slaap-EEG onderzocht. De onderzoekers hebben bijvoorbeeld gekeken naar het spectrale vermogen van het EEG in de verschillende frequentiebanden en de slaaparchitectuur, d.w.z. de langzame en paradoxale slaap, met zijn verschillende stadia. Sommige studies hebben zelfs gekeken naar de hoeveelheid slaap, de inslaaptijd en de ontwaakfrequentie. Sommige auteurs hebben geen effect van RF-velen gevonden [56-63], terwijl anderen vaststellen dat het RF-veld enkele van de slaapparameters aanzienlijk wijzigt [18, 64-66].

3.4.3 Conclusies

Er zijn meerdere studies uitgevoerd om te bepalen of de blootstelling aan RF door mobiele telefoons van invloed is op de elektrische activiteit van de hersenen, met waak- en slaap-EEG's. In het algemeen is er geen duidelijk bewijs dat deze meting van de hersenactiviteit systematisch wordt beïnvloed door blootstelling aan RF. Met betrekking tot het EEG in waaktoestand zijn de resultaten consistent. Meerdere studies rapporteren effecten in de alfafrequentieband, voornamelijk tijdens de blootstelling, maar soms ook na de blootstelling. De resultaten van het slaap-EEG toonden ook veranderingen aan in de alfafrequentiebanden en de slaapspoel tijdens de niet-paradoxale slaap, zowel bij blootstelling vóór als bij blootstelling tijdens de slaap. In het algemeen zijn er zekere aanwijzingen voor kleine veranderingen in de elektrische activiteit van de hersenen in verband met blootstelling aan RF. Met betrekking tot kinderen, adolescenten en patiënten met verschillende ziekten is er zeer weinig onderzoek gedaan. Bovendien is er, ondanks de waargenomen effecten bij gezonde volwassenen, momenteel geen bewijs dat deze effecten op enige wijze verband houden met gezondheid of welzijn. Ook het werkingsmechanisme achter deze bescheiden effecten is nog onbekend.

3.5 Effecten van RF bij kinderen

In 2013 heeft het Franse agentschap ANSES aanbevolen om de blootstelling van kinderen aan RF van mobiele telefoons te verminderen [2]. In 2015 werd de zogenaamde wet 'Abeille' 2015-136 over soberheid, transparantie, informatie en overleg over blootstelling aan elektromagnetische golven goedgekeurd door het Franse parlement. **In juli 2016 heeft het ANSES een wetenschappelijk rapport gepubliceerd over de effecten van blootstelling aan RF-velden op de gezondheid van kinderen [67].**

We kunnen alleen maar vaststellen dat kinderen vroeger en vroeger een eigen mobiele telefoon hebben en meerdere apparaten gebruiken die elektromagnetische golven uitzenden in het radiofrequentiebereik (tablet, geconnecteerde speeltjes en horloges enz.). Het ANSES wijst erop dat kinderen meer blootgesteld kunnen zijn dan volwassenen vanwege hun morfologische en anatomische kenmerken, in het bijzonder hun kleine gestalte en onvolgroeide weefsels. Digitale modellering toont aan dat de hersengebieden in de buurt van de schedel meer worden blootgesteld bij kinderen dan bij volwassenen, zelfs als men onder de blootstellingslimieten voor de bevolking blijft. Dit komt zowel door anatomische kenmerken, in het bijzonder de dunnere oorlel bij kinderen, als door de diëlektrische eigenschappen van onvolgroeide weefsels. Bovendien absorberen mensen onder de 1,30 m (inclusief kinderen) meer RF-velden bij frequenties rond de 100 MHz en van 1 tot 4 GHz. Zo is aangetoond dat bij het maximale toegestane niveau voor de bevolking de blootstelling van het gehele lichaam bij deze personen de basisrestricties (zoals gedefinieerd door de ICNIRP) kan overschrijden. De blootstellingsniveaus in de dagelijkse omgeving blijven echter ver onder de voor de bevolking toegestane blootstellingsgrenzen, wat betekent dat deze configuratie in het dagelijks leven niet voorkomt.

Volgens het ANSES [67] heeft de analyse van de beschikbare menselijke, epidemiologische, klinische en dierlijke studies niet tot de conclusie geleid dat de blootstelling aan RF-velden enig effect heeft op een aantal parameters zoals gedrag, ontwikkeling en teratogene effecten, de ontwikkeling van tumoren, de mannelijke en vrouwelijke voortplantingssystemen, het immuunsysteem en de systemische toxiciteit. Aan de andere kant kwam deze analyse tot de conclusie dat blootstelling aan RF-velden een effect kan hebben op de cognitieve functies met over het algemeen betere prestaties (humane en dierlijke studies). Het welzijn lijkt ook te worden beïnvloed door blootstelling aan RF-velden en het ANSES merkt een invloed op de vermoeidheid van kinderen op. Maar, op basis van de beschikbare gegevens kon men echter niet vaststellen of de vermoeidheid verband hield met de blootstelling aan RF-velden of het telefoongebruik (vooral 's nachts). Het ANSES roept daarom op tot een redelijk gebruik van mobiele telefoons door kinderen (nachtelijke communicatie, frequentie en duur van gesprekken, ...) en beveelt aan de gezondheids- en psychosociale impact (leren op school, sociale en familiale relaties, ...) in verband met het gebruik van mobiele communicatietechnologieën bij kinderen te evalueren.

Volgens de wet 'Abeille' mag reclame voor mobiele telefoons niet gericht zijn op kinderen onder de 14 jaar. Het ANSES beveelt aan deze bepaling uit te breiden tot andere communicatieapparatuur voor kinderen en het publiek ervan in kennis te stellen dat alle apparatuur die elektromagnetische velden uitzendt, moet voldoen aan de wettelijke grenswaarden.

Verder beveelt het agentschap aan om verder onderzoek te doen naar de impact van RF-velden op de hersenen en cognitieve functies op verschillende leeftijden bij kinderen en jonge dieren. Ten slotte wordt met betrekking tot nieuwe communicatietechnologieën onderzoek naar de psychosociale impact en mentale gezondheidsstoornissen (stress, verslaving, depressie) verwacht.

3.6 Elektrohypersensitiviteit

In de afgelopen jaren hebben sommige mensen verschillende gezondheidsproblemen gemeld die zij toeschrijven aan hun blootstelling aan elektromagnetische velden. De beschreven symptomen zijn talrijk en variëren sterk van persoon tot persoon.

Deze symptomen worden gekenmerkt door twee aspecten:

- 1) ze zijn niet specifiek en soms zeer frequent in de hele bevolking (hoofdpijn, slaapstoornissen, concentratieproblemen enz.);
- 2) geen enkele identificeerbare laesie of disfunctie kan het optreden ervan verklaren.

Bij gebrek aan betrouwbare diagnostische criteria, kan alleen de zelfrapportage van de patiënt deze aandoening definiëren, de zogenaamde 'elektrohypersensitiviteit' (EHS), 'elektromagnetische overgevoeligheid' of 'idiopathische milieu-intolerantie toegeschreven aan elektromagnetische velden'. De wetenschappelijke literatuur over dit onderwerp is uitgebreid en in 2018 publiceerde het ANSES er een expertiserapport over [68]. Het verslag onderlijnt de grote complexiteit van de kwestie van elektromagnetische overgevoeligheid. Deze complexiteit manifesteert zich in de grote verscheidenheid aan beschreven symptomen (bijna 80 aangehaalde symptomen; niet alle personen die aan EHS zeggen te lijden, hebben last van dezelfde kwalen) en in het feit dat de elektromagnetische velden waaraan deze personen worden blootgesteld soms zeer verschillend kunnen zijn (van extreem lage frequenties tot radiofrequenties). Door deze heterogeniteit was het niet mogelijk om diagnostische of classificatiecriteria vast te leggen, wat de studie van deze aandoening bemoeilijkt en kan doen veronderstellen dat EHS niet overeenkomt met één enkel medisch probleem. Het rapport wijst er ook op dat er veel overeenkomsten zijn tussen EHS en andere medisch onverklaarde aandoeningen of syndromen, zoals meervoudige chemische gevoeligheid of fibromyalgie. Dit maakt het nog ingewikkelder en doet de vraag rijzen of deze verschillende functiestoornissen slechts varianten zijn van één enkele pathologische aandoening dan wel elk een specifieke pathologie vormen. In ieder geval komen de symptomen bij mensen die EHS zeggen te hebben overeen met een werkelijkheid en kunnen ze invaliderend zijn.

De belangrijkste vraag met betrekking tot EHS blijft de oorsprong en het aandeel van de blootstelling aan elektromagnetische golven in de totstandkoming van deze functionele stoornis. Het ANSES analyseerde een veertigtal dubbelblinde zogenaamde 'provocatiestudies', waarin vrijwillige EHS-personen al dan niet werden blootgesteld aan elektromagnetische golven. Deze studies hebben geen causaal verband aangetoond tussen blootstelling en het optreden van EHS-symptomen. Volgens het ANSES leidt dit tot twee hypothesen:

Hypothese 1: “De symptomen ervaren door personen die aan EHS zeggen te lijden, zijn niet te wijten aan de blootstelling aan elektromagnetische velden en er is geen biologische en/of fysiologische anomalie die objectief kan worden gedetecteerd bij blootstelling aan elektromagnetische velden”;

Hypothese 2: “Het ontbreken van resultaten is te wijten aan de methodologische beperkingen van de provocatiestudies (selectie van proefpersonen, steekproefomvang, aard van de blootstellingen enz.)”.

Bij gebrek aan wetenschappelijk bewijs voor de rol van blootstelling aan elektromagnetische velden bij de ontwikkeling van EHS, hebben sommige onderzoekers de rol van het ‘nocebo-effect’ bestudeerd. Het comité van deskundigen van het ANSES heeft een vijftiental wetenschappelijke artikelen geanalyseerd. Deze analyse toont aan dat *“het nocebo-effect zeker een niet te verwaarlozen rol speelt bij de persistentie van EHS”*. De betrokkenheid van dit *nocebo-effect* bij het eerste optreden van symptomen en de toeschrijving ervan aan blootstelling aan elektromagnetische velden is echter niet aangetoond.

Uiteindelijk kon het ANSES-rapport geen specifiek klinisch beeld of een geloofwaardige hypothese aanreiken voor een mechanisme dat EHS zou kunnen verklaren. De analyse van de studies toont geen causaal verband aan tussen het optreden van deze symptomen en de blootstelling aan elektromagnetische velden. Het ANSES benadrukt echter dat de realiteit van de ervaren symptomen en het psychosociale isolement van sommige mensen die aan EHS zeggen te lijden, passende zorg van gezondheids- en sociale actoren vereisen en rechtvaardigen.

3.7 Conclusie

De laatste jaren zijn de onderzoeksinspanningen voortgezet en zijn er tal van studies uitgevoerd naar de mogelijke biologische effecten van radiofrequente elektromagnetische velden. De kwaliteit van deze studies varieert, wat kan leiden tot fouten in de risicobeoordeling. Om die reden hebben we onze analyse vooral gericht op overheidsrapporten, omdat deze alleen studies in aanmerking nemen die voldoen aan de fundamentele wetenschappelijke kwaliteitscriteria. De nieuwe studies hebben geen bewezen risico of een geloofwaardig werkingsmechanisme kunnen aantonen. Ook nieuwe publicaties over ‘elektrohypersensitiviteit’ hebben geen direct verband aangetoond tussen blootstelling aan RF en het optreden van symptomen, noch hebben ze fysiologische kenmerken geïdentificeerd die kunnen helpen bij de diagnose of de ontwikkeling van effectieve therapeutische behandelingen.

De risicobeoordeling wordt bemoeilijkt door de aanwezigheid van tegenstrijdige resultaten die het onmogelijk maken betrouwbare conclusies te trekken, noch in de zin van een gezondheidseffect, noch in de zin van een totale afwezigheid van effect. Het NTP-onderzoek, dat zoveel media-aandacht heeft gekregen, is daar een perfect voorbeeld van. Het statistisch significante voorkomen van bepaalde soorten tumoren bij ratten kan voornamelijk te wijten zijn aan het feit dat de overleving bij de controlegroepen abnormaal laag was, en niet aan het feit dat de groepen die aan RF werden blootgesteld een bijzonder hoog tumorniveau hadden.

In termen van onderzoek moet men erkennen dat nog niet alle scenario's bestudeerd zijn en dat de mogelijke gevolgen van levenslange blootstelling op bijvoorbeeld de meeste neurodegeneratieve ziekten, het gedrag of angstaanvallen, nog niet bekend zijn.

Dat de overgrote meerderheid van de kwalitatief hoogwaardige experimentele studies geen schadelijk effect van blootstelling aan RF-straling aantoont, is geruststellend voor de volksgezondheid. De psychosociale risico's in verband met het gebruik van RF-apparatuur moeten echter nader worden bestudeerd.

Uiteindelijk kan de wetenschap de risico's in verband met blootstelling aan RF-velden beoordelen door de 'bewijskracht' te bepalen, maar een eenvoudig, zelfs simplistisch wetenschappelijk antwoord zal niet echt mogelijk zijn. Men zou immers wetenschappelijk en zonder enige twijfel de veiligheid van radiofrequenties moeten aantonen (d.w.z. het nulrisico bewijzen), terwijl het aantal mogelijke situaties oneindig is, met verschillende soorten elektromagnetische golven en signalen die kunnen leiden tot gecombineerde blootstelling, waarin ook andere omgevingsbronnen een rol kunnen spelen, zoals chemische verontreinigende stoffen.

De meeste gezondheid studies genoemd in dit hoofdstuk verwijzen naar een hoge veldsterkte en een hoog telefoongebruik. In de specifieke context van antennes is het moeilijk om de analyses uit te voeren zonder schattingen te maken.

Wetenschappelijke studies op basis van *in vivo* en *in vitro* experimenten gebruiken een hoog vermogen gedurende een beperkte tijd (om de omstandigheden van telefonisch gebruik na te bootsen). Het idee is om bloot te stellen aan hoge niveaus om de waarschijnlijkheid te verhogen om een effect te kunnen opwekken. De benadering gaat altijd uit dat er een dosis-effect bestaat, aangezien het een algemeen bekend fenomeen is voor blootstelling aan chemicaliën, hitte, licht, UV, röntgenstraling, enz. Zeer weinig studies gebruiken gedurende zeer lange perioden een laag vermogen om het effect van antennes na te bootsen.

De verdedigde benadering is dat als er geen schadelijke effecten worden waargenomen bij hoge blootstellingen, het redelijk is om aan te nemen dat er bij lage blootstellingen geen effecten waarneembaar zullen zijn. Er wordt gewezen dat er tot op heden nog nooit een schadelijke biologische reactie op RF is aangetoond, wat zou kunnen suggereren dat er een langdurig cumulatief effect zou kunnen bestaan. Een bijkomend onderzoeksgebied blijft openstaan om deze vraag te onderzoeken.

3.8 Bibliografie

- [1] SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks). 2015. Opinion on "Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)"
- [2] ANSES 2013. Mise à jour du rapport d'expertise collective "Radiofréquences et santé".
- [3] Vijayalaxmi, 2016. Good study design and quality publications: biological and health effects of radiofrequency fields. *Mutat Res*; 810:6–12.
- [4] Simko et al, 2016. Quality matters. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13: 701.
- [5] Vijayalaxmi and Prihoda, T. J. 2019. Comprehensive Review of the Quality of the Publications and Meta-analysis of Genetic Damage in Mammalian Cells Exposed to Non-Ionizing Radiofrequency Fields. *Radiat. Res.* 191, 20–30. doi: 10.1667/RR15117.1
- [6] Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. 2016. "Recent Research on EMF and Health Risk"
- [7] Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. 2018. "Recent Research on EMF and Health Risk"
- [8] ANSES 2012, Rapport d'expertise collective "Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation du scanner corporel à ondes millimétriques Ego".
- [9] Zhadobov M., Chahat N., Sauleau R., Le Quement C., and Le Drean Y. 2011. Millimeter-Wave Interactions with the Human Body: State of Knowledge and Recent Advances. *Int J Microwave & Wireless tech.* 3(2), 237–247
- [10] Report of Partial Findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis Studies of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Hsd:Sprague Dawley® SD rats (Whole Body Exposures). 2016.
- [11] NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in Hsd:Sprague Dawley SD rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. 2018 (TR595) https://www.niehs.nih.gov/ntp-temp/tr596_508.pdf
- [12] NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/N mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1,900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. 2018 (TR596) https://www.niehs.nih.gov/ntp-temp/tr595_508.pdf
- [13] Kesari KK, Agarwal A, Henkel R. 2018. Radiations and male fertility. *Reprod Biol Endocrinol.* 16(1):118. doi: 10.1186/s12958-018-0431-1.
- [14] Croft R.J., Chandler J.S., Burgess A.P., Barry R.J., Williams J.D., Clarke A.R. (2002) Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clinical neurophysiology*: 113:1623-1632.
- [15] Croft R., Hamblin D., Spong J., Wood A., McKenzie R., Stough C. (2008) The effect of mobile phone electromagnetic fields on the alpha rhythm of human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics*: 29:1-10.
- [16] Croft R.J., Leung S., McKenzie R.J., Loughran S.P., Iskra S., Hamblin D.L., Cooper N.R. (2010) Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents young adults, and the elderly. *Bioelectromagnetics* 31:434-444.
- [17] Curcio G., Ferrara M., Moroni F., D'Inzeo G., Bertini M., De Gennaro L. (2005) Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness. *Neuroscience research* 53:265-270.
- [18] Huber R., Treyer V., Borbely A.A., Schuderer J., Gottselig J.M., Landolt H.P., Werth E., Berthold T., Kuster N., Buck A., Achermann P. (2002) Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *Journal of sleep research* 11:289-295.
- [19] Regel S.J., Gottselig J.M., Schuderer J., Tinguely G., Rétey J.V., Kuster N., Landolt H-P., Achermann P. (2007) Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *Neuroreport* 18:803-807.

- [20] Reiser H., Dimpfel W., Schober F. (1995). The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *European Journal of medical research* 1:27-32.
- [21] Von Klitzing L. (1995) Medical/biological Study (experimental study) Low-Frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Physica Medica* 11:77-80.
- [22] Lebedeva N., Sulimov A., Sulimova O., Kotrovskaya T., Gailus T. (2000) Cellular phone electromagnetic field effects on bioelectric activity of human brain. *Critical reviews in biomedical engineering* 28:323-338.
- [23] Vecchio F., Babiloni C., Ferreri F., Curcio G., Fini R., Del Percio C., Rossini P.M. (2007) Mobile phone emission modulates interhemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms. *The European journal of neuroscience* 25:1908-1913.
- [24] Vecchio F., Babiloni C., Ferreri F., Buffo P., Cibelli G., Curcio G., van Dijkman S., Melgari J.M., Giambattistelli F., Rossini P.M. (2010) Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 121:163-171.
- [25] Vecchio F., Tombini M., Buffo P., Assenza G., Pellegrino G., Benvenga A., Babiloni C., Rossini P.M. (2012) Mobile phone emission increases inter-hemispheric functional coupling of electroencephalographic alpha rhythms in epileptic patients. *International journal of psychophysiology*: 84:164-171.
- [26] Suhhova A., Bachmann M., Karai D., Lass J., Hinrikus H. (2013) Effect of microwave radiation on human EEG at two different levels of exposure. *Bioelectromagnetics* 34:264-274.
- [27] Roggeveen S., van Os J., Viechtbauer W., Lousberg R. (2015) EEG Changes Due to Experimentally Induced 3G Mobile Phone Radiation. *PloS one* 10:e0129496.
- [28] D'Costa H., Trueman G., Tang L., Abdel-rahman U., Abdel-rahman W., Ong K., Cosic I. (2003) Human brain wave activity during exposure to radiofrequency field emissions from mobile phones. *Australas Phys Eng Sci Med* 26:162-167.
- [29] Maby E., Le Bouquin Jeannes R., Faucon G. (2006) Short-term effects of GSM mobiles phones on spectral components of the human electroencephalogram. *Conference proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Annual Conference* 1:3751-3754.
- [30] Perentos N., Croft R.J., McKenzie R.J., Cosic I. (2013) The alpha band of the resting electroencephalogram under pulsed and continuous radio frequency exposures. *IEEE transactions on biomedical engineering* 60:1702-1710.
- [31] Vecchio F., Buffo P., Sergio S., Iacoviello D., Rossini P.M., Babiloni C. (2012) Mobile phone emission modulates event-related desynchronization of alpha rhythms and cognitive-motor performance in healthy humans. *Clinical neurophysiology*: 123:121-128.
- [32] Ghosn R., Yahia-Cherif L., Hugueville L., Ducorps A., Lemarechal J.D., Thuroczy G., de Seze R., Selmaoui B. (2015) Radiofrequency signal affects alpha band in resting electroencephalogram. *Journal of neurophysiology* 113:2753-2759.
- [33] Yang L., Chen Q., Lv B., Wu T. (2017) Long-Term evolution electromagnetic fields exposure modulates the resting state EEG on alpha and beta bands. *Clinical EEG and neuroscience* 48:168-175.
- [34] Vecsei Z, Knakker B, Juhász P, Thuróczy G, Trunk A, Hernádi I. (2018) Short-term radiofrequency exposure from new generation mobile phones reduces EEG alpha power with no effects on cognitive performance. *Sci Rep.* 8(1):18010. doi: 10.1038/s41598-018-36353-9.
- [35] Röschke J., Mann K. (1997) No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics*: 18:172-176
- [36] Hietanen M., Kovala T., Hämmäläinen A-M. (2000) Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scandinavian journal of work, environment & health* 87-92.

- [37] Perentos N., Croft R.J., McKenzie R.J., Cvetkovic D., Cosic I. (2007) Comparison of the effects of continuous and pulsed mobile phone like RF exposure on the human EEG. *Australasian Physics & Engineering Sciences in Medicine* 30:274-280.
- [38] Loughran S.P., Benz D.C., Schmid M.R., Murbach M., Kuster N., Achermann P. (2013) No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions. *Clinical neurophysiology* 124:1303-1308.
- [39] Trunk A., Stefanics G., Zentai N., Kovács-Bálint Z., Thuróczy G., Hernadi I. (2013) No effects of a single 3G UMTS mobile phone exposure on spontaneous EEG activity, ERP correlates, and automatic deviance detection. *Bioelectromagnetics* 34:31-42.
- [40] Zentai N., Csathó A., Trunk A., Fiocchi S., Parazzini M., Ravazzani P., Thuróczy G., Hernádi I. (2015) No effects of acute exposure to Wi-Fi electromagnetic fields on spontaneous EEG activity and psychomotor vigilance in healthy human volunteers. *Radiation research* 184:568-577.
- [41] Reeves R.R., Struve F.A., Patrick G. (2002) Topographic quantitative EEG response to acute caffeine withdrawal: a comprehensive analysis of multiple quantitative variables. *Clinical Electroencephalography* 33:178-188.
- [42] Siepmann M., Kirch W. (2002) Effects of caffeine on topographic quantitative EEG. *Neuropsychobiology* 45:161-166.
- [43] Herning R.I., Better W., Tate K., Cadet J.L. (2003) EEG deficits in chronic marijuana abusers during monitored abstinence. *Annals of the New York Academy of Sciences* 993:75-78.
- [44] Teneggi V., Squassante L., Milleri S., Polo A., Lanteri P., Ziviani L., Bye A. (2004) EEG power spectra and auditory P300 during free smoking and enforced smoking abstinence. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 77:103-109.
- [45] Deslandes A., Veiga H., Cagy M., Piedade R., Pompeu F., Ribeiro P. (2005) Effects of caffeine on the electrophysiological, cognitive and motor responses of the central nervous system. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 38:1077-1086.
- [46] Domino E.F., Ni L., Thompson M., Zhang H., Shikata H., Fukai H., Sakaki T., Ohya I. (2009) Tobacco smoking produces widespread dominant brain wave alpha frequency increases. *International Journal of Psychophysiology* 74:192-198.
- [47] Lansbergen M.M., Dumont G.J., van Gerven J.M., Buitelaar J.K., Verkes R.-J. (2011) Acute effects of MDMA (3, 4-methylenedioxymethamphetamine) on EEG oscillations: alone and in combination with ethanol or THC (delta-9-tetrahydrocannabinol). *Psychopharmacology* 213:745-756.
- [48] Fisher D.J., Daniels R., Jaworska N., Knobelsdorf A., Knott V.J. (2012) Effects of acute nicotine administration on resting EEG in nonsmokers. *Experimental and clinical psychopharmacology* 20:71.
- [49] Lithari C., Klados M.A., Pappas C., Albani M., Kapoukranidou D., Kovatsi L., Bamidis P.D., Papadelis C.L. (2012) Alcohol affects the brain's resting-state network in social drinkers. *PLoS one* 7:e48641.
- [50] Becker D., Creutzfeldt O., Schwibbe M., Wuttke W. (1982) Changes in physiological, EEG and psychological parameters in women during the spontaneous menstrual cycle and following oral contraceptives. *Psychoneuroendocrinology* 7:75-90
- [51] Solis-Ortiz S., Guevara M., Corsi-Cabrera M. (2004) Performance in a test demanding prefrontal functions is favored by early luteal phase progesterone: an electroencephalographic study. *Psychoneuroendocrinology* 29:1047-1057.
- [52] Brötzner C.P., Klimesch W., Doppelmayr M., Zauner A., Kerschbaum H.H. (2014) Resting state alpha frequency is associated with menstrual cycle phase, estradiol and use of oral contraceptives. *Brain research* 1577:36-44.
- [53] Bazanova O.M., Nikolenko E.D., Barry R.J. (2017) Reactivity of alpha rhythms to eyes opening (the Berger effect) during menstrual cycle phases. *International Journal of Psychophysiology* 122:56-64.

- [54] Sannita W.G., Loizzo A., Garbarino S., Gesino D., Massimilla S., Ogliaastro C. (1999) Adrenocorticotropin-related modulation of the human EEG and individual variability. *Neuroscience letters* 262:147-150.
- [55] Tops M., Wijers A.A., van Staveren A.S., Bruin K.J., Den Boer J.A., Meijman T.F., Korf J. (2005) Acute cortisol administration modulates EEG alpha asymmetry in volunteers: relevance to depression. *Biological psychology* 69:181-193.
- [56] Wagner P, Röschke J, Mann K, Hiller W, Frank C. (1998) Human Sleep Under the Influence of Pulsed Radiofrequency Electromagnetic Fields: A Polysomnographic Study Using Standardized Conditions. *Bioelectromagnetics*, 19 (3), 199-202
- [57] Wagner P, Röschke J, Mann K, Fell J, Hiller W, Frank C, Grözinger M. (2000) Human Sleep EEG Under the Influence of Pulsed Radio Frequency Electromagnetic Fields. Results From Polysomnographies Using Submaximal High Power Flux Densities. *Neuropsychobiology*, 42 (4), 207-12.
- [58] Loughran SP, McKenzie RJ, Jackson ML, Howard ME, Croft RJ. (2012) Individual Differences in the Effects of Mobile Phone Exposure on Human Sleep: Rethinking the Problem. *Bioelectromagnetic*, 33 (1), 86-93
- [59] Fritzer G, Göder R, Friege L, Wachter J, Hansen V, Hinze-Selch D, Aldenhoff JB. (2007). Effects of Short-And Long-Term Pulsed Radiofrequency Electromagnetic Fields on Night Sleep and Cognitive Functions in Healthy Subjects. *Bioelectromagnetics*, 28 (4), 316-25
- [60] Danker-Hopfe H-, Dorn H, Bahr A, Anderer P, Sauter C. (2011). Effects of Electromagnetic Fields Emitted by Mobile Phones (GSM 900 and WCDMA/UMTS) on the Macrostructure of Sleep. *J Sleep Res*, 20 (1 Pt 1), 73-81
- [61] Danker-Hopfe H, Dorn H, Bornkessel C, Sauter C. (2010). Do mobile phone base stations affect sleep of residents? Results from an experimental double-blind sham-controlled field study. *Am J Hum Biol*, 22 (5), 613-8
- [62] Schmid MR, Murbach M, Lustenberger C, Maire M, Kuster N, Achermann P, Loughran SP. (2012) Sleep EEG Alterations: Effects of Pulsed Magnetic Fields Versus Pulse-Modulated Radio Frequency Electromagnetic Fields. *J Sleep Res*, 21 (6), 620-9
- [63] Regel SJ, Tinguely G, Schuderer J, Adam M, Kuster N, Landolt HP, Achermann P. (2007). Pulsed Radio-Frequency Electromagnetic Fields: Dose-Dependent Effects on Sleep, the Sleep EEG and Cognitive Performance. *J Sleep Res*, 16 (3), 253-8
- [64] Huber R, Treyer V, Borbély A, Schuderer J, Gottselig J M, Landolt H-P, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P (2000). Electromagnetic Fields, Such as Those From Mobile Phones, Alter Regional Cerebral Blood Flow and Sleep and Waking EEG. *J Sleep Res*, 11 (4), 289-95
- [65] Hung C-S, Anderson C, Horne JA, McEvoy P. (2007) Mobile Phone 'Talk-Mode' Signal Delays EEG-determined Sleep Onset. *Neurosci Lett*, 421 (1), 82-6.
- [66] Lowden A, Akerstedt T, Ingre M, Wiholm C, Hillert L, Kuster N, Nilsson J P, Arnetz B. (2011). Sleep After Mobile Phone Exposure in Subjects with Mobile Phone-Related Symptoms. *Bioelectromagnetics*, 32 (1), 4-14.
- [67] ANSES 2016. Rapport d'expertise collective « *Exposition aux radiofréquences et santé des enfants* ».
- [68] ANSES 2018, Rapport d'expertise collective « *Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques* »
- [69] Wallace, J., Selmaoui, B. (2019). Effect of mobile phone radiofrequency signal on the alpha rhythm of human waking EEG: A review. *Environmental Research* 175, 274-286.

4 Economische impacten

4.1 Macro-economische aspecten

Doelstellingen: Verdere analyse van de effecten van de ontwikkeling van 5G-technologie voor de wereldwijde en Europese markt (en zoals gevraagd in Azië en de Verenigde Staten), met name wat betreft groei, directe en indirecte bijdrage aan de economische activiteit, werkgelegenheid, infrastructuur, overheidsfinanciering, dienstverlening en belemmeringen.

4.1.1 Voorwoord

Net als bij de vorige versies moeten de cijfers in dit hoofdstuk als indicatief worden beschouwd. Hoewel de gegevens steeds verder worden verfijnd, gaat het vaak om prognoses. Bovendien vermelden de in aanmerking genomen bronnen niet altijd alle informatie over de gekwantificeerde indicatoren, met name de precieze betekenis ervan, bijvoorbeeld wat betreft het onderscheid tussen verbindingen en abonnementen of het referentiejaar van de genoemde munteenheden en de wisselkoers \$/€. Dat leidt tot onzekerheid en zet de lezer aan tot voorzichtigheid.

Deze versie zal ongeveer dezelfde structuur behouden als de vorige versie (Rolain, Y. et al., 2018) en de inhoud van de paragrafen in deze sectie moet worden beschouwd als een aanvulling. Het oorspronkelijke idee om toepassingen te bespreken die baat kunnen hebben bij 5G, zoals het internet der dingen (IoT) en machine-tot-machineverbindingen (M2M), zal slechts gedeeltelijk aan bod komen, omdat het nog te vroeg is. Veel apparaten die onderling verbonden kunnen worden via draadloze netwerken (cellulair of wifi) zijn nog niet beschikbaar. Het is ook nog te vroeg voor wereldwijde toepassingen die voldoende grote cellulaire netwerken vereisen.

5G zal naar verwachting van start gaan in 2019-2020, het jaar van markttoetreding (Cerwall, P. et al., 2018). Dit houdt ook de introductie van chips van de derde generatie in (waarmee snelheden van 1 Gbps mogelijk zijn) en de verkoop van aangepaste apparaten (smartphones,...), wat begin 2019 nog niet het geval is (Pujol et al., 2019). De verkoop van 5G-smartphones zal naar verwachting slechts 1% van de verkoop in 2020 vertegenwoordigen (Wieland, K., 2019). Een massale invoering wordt niet vóór 2025 verwacht.

In de tussentijd zijn we getuige van de implementatie van testfasen, voorafgaand aan de testen voor de uitrol van de netwerken en hun commerciële ontwikkeling.

4.1.2 Wereldwijde en Europese markten in de mobiele 5G-sector: verwacht aantal mobiele abonnementen en mobiel verkeer - Test- en uitrolfasen

Op wereldniveau wordt het grootste deel van de netwerkuitrol tegen 2020 verwacht. Volgens de prognoses zal het aantal 5G-abonnementen in 2023 meer dan 1 miljard bedragen (Cerwall P. et al., 2018) of ongeveer 12% van de mobiele abonnementen op 7,2 miljard smartphones, en zal dat aantal in 2025 stijgen tot 1,7 miljard (Pujol et al., 2018). Dit cijfer komt overeen met dat van een andere bron: 1,5 miljard abonnementen tegen eind 2024 (Cerwall P. et al., 2018), of 17% van alle abonnementen. Voor de verbindingen¹⁸ vermeldt een studie (Juniter, 2017) 1,4 miljard in 2025, wat weinig is in vergelijking met het aantal abonnementen.

Tegen 2025 zouden de meeste abonnementen zich in Azië bevinden: 960 (58%), gevolgd door Amerika: 329 (20%) (Manero, C. en Pujol, F., 2018). Wat de aansluitingen betreft, zou 4,1 miljard gewijd zijn aan het IoT in 2024 (Sue, M., 2018; Cerwall, P. et al., 2018) en 3,1 miljard in 2025 volgens GSMA (GSMA, 2018a).

De overgang van 4G naar 5G zou snel moeten verlopen. Momenteel zijn er vele testfasen aan de gang. Deze vooruitgang wordt bevorderd door de sterke betrokkenheid van de mobiele communicatiesector en de steun van de overheid.

In de Verenigde Staten bijvoorbeeld heeft Verizon, een van de 4 mobiele telefoonoperatoren¹⁹, sinds 2017 in 11 steden testen uitgevoerd met apparatuurproducenten Nokia en Qualcomm (millimetergolven, heen- en weergaande golven, golven aan zeer hoge snelheid, bewegende voertuigen) (Pujol, F. et al., 2019). De eerste commerciële lanceringen (Apple TV, Google Chromecast) volgden in enkele steden. AT&T begon ook al vroeg met testen in een tiental steden (Bell, P., 2018). Zoals aangegeven in punt 3.3.3 van dit verslag is de ervaring feedback van deze acties niet altijd overtuigend, omdat de huidige ontwikkeling onvoldoende is. Deze acties zijn echter van beperkt belang omdat de eerste smartphones pas in 2019 op de markt komen.

Dezelfde tendens kan worden waargenomen in Zuidoost-Azië: Zuid-Korea, Japan en China (Pujol, F. et al., 2019). Zuid-Korea kwam als eerste in de kijker met een commerciële lancering tijdens de Olympische Winterspelen in februari 2018, waar een videodienst op 28 GHz werd gebruikt. Sindsdien wordt de ontwikkeling van 5G in enkele steden voortgezet. Ook in Japan is de ontwikkeling van een 5G-netwerk gepland, met name voor de Olympische en Paralympische Zomerspelen van 2020. Inmiddels zijn de drie operatoren ([NTT Docomo](#), [KDDI](#) en SoftBank Group) begonnen met het testen van nieuwe frequenties of snelheden, waaronder toepassingen in de spoorwegsector. Tot slot wordt het initiatief in China sterk gesteund door de autoriteiten. De drie operatoren²⁰ zijn betrokken bij de bouw van basisstations en testen in verschillende steden, waaronder Peking, Tianjin, Shanghai en Shenzhen (Hatt, T. en Lacopino, P.,

¹⁸ De abonnementen komen overeen met unieke mobiele abonnees. Unieke abonnees kunnen meerdere mobiele verbindingen hebben (d.w.z. simkaarten).

¹⁹ In de Verenigde Staten domineren vier mobiele telefoonoperatoren: AT & T, Sprint, T-Mobile en Verizon.

²⁰ China Mobile, China Unicom en China telecom.

2018). Er zijn commerciële lanceringen gepland in 2020, als onderdeel van het programma 'Made in China 2025'.

Op Europees niveau zou volgens IDATE Digiworld (Manero, C. en Pujol, F., 2018) het aantal abonnementen in 2025 naar verwachting 274 miljoen bedragen, d.w.z. 17% van het wereltaandeel (11% voor de EU-28). GSMA (GSMA, 2018b) noemt lagere aantallen in termen van verbindingen: 203 miljoen in 2025.

Net als elders in de wereld zijn verschillende landen in het Europa van de 28²¹ reeds begonnen met testen op stadsniveau (GSMA, 2018b) en in grensoverschrijdende corridors (Pujol, F. et al., 2019). Het verslag 'Digital Economy and Society Index' over connectiviteit vermeldt 80 testen en pilootstudies (DESI-rapport, 2018). Deze testen schetsen een beeld van de implementatiefasen, in afwachting van andere testen in reële omstandigheden wanneer er 5G-smartphones beschikbaar zijn. Momenteel zijn er twee commerciële netwerken opgezet, een in Finland (Tampere) en een in Estland (Tallinn). Andere zullen naar verwachting begin 2019 volgen. Ze zijn het resultaat van samenwerking tussen lokale operatoren (Deutsche Telekom, Orange, SFR, Buypass, Vodafone, KPN, T-Mobile Austria enz.) en technologische partners (Ericsson, Nokia, Huawei, Samsung ...). Tot de meest actieve landen behoren: Spanje, Frankrijk, Duitsland, Italië, het Verenigd Koninkrijk, Finland, Estland, Nederland, Portugal en Roemenië. Zwitserland heeft ook de wens geuit om in de race te blijven, in samenwerking met zijn drie operatoren: [Swisscom AG](#) (met Ericsson), [Sunrise Communications AG](#) (met Huawei) en [Salt SA \(met Nokia\)](#). Er zijn testnetwerken opgezet in Berthoud, Lausanne, Bern, Zurich, Genève en Luzern (Swisscom, 2018).

Voor mobiel verkeer in een wereldwijde context werd de kwestie in het vorige rapport aan de orde gesteld (Rolain, Y et al., 2018). Onder de nieuwe elementen die sindsdien zijn gepubliceerd, valt op te merken dat de doorvoercapaciteit van 5G-netwerken tegen eind 2024 naar verwachting 136 exabytes (EB) per maand zal bereiken (Cerwall et al. 2018). Deze capaciteit komt overeen met 25% van het wereldwijde verkeer. Ericsson vermeldt ook een meer dan vervijfvoudiging van het verkeer tussen 2018 en 2024, dankzij een grotere netwerkcapaciteit en lagere kosten per byte (Cerwall, P. et al., 2018). Daarnaast zullen er toepassingen bijkomen met de ontwikkelingen in het internet der dingen (verticale markten).

4.1.3 Groeimotor

Op wereldniveau zijn er over de verwachte macro-economische voordelen van het 5G-netwerk, althans voor de lange termijn, weinig nieuwe prospectieve studies uitgevoerd (Campbell, K et al., 2017) en de informatie uit het vorige rapport (Rolain et al., 2018) blijft geldig. Op korte termijn blijft de impact waarschijnlijk beperkt, behalve voor de communicatiesector.

²¹ De oprichting van de Europese 5G-waarnemingspost door het DG Connect van de Europese Commissie maakt het mogelijk de invoering van 5G op de EU-28-markten, de ontwikkelingen en de verwachte toepassingen te volgen. Op dit moment heeft Idate Digiworld twee kwartaalverslagen gepubliceerd.

Voor Europa en de middellange termijn blijven de resultaten van de door de Europese Commissie gefinancierde en in het vorige verslag besproken SMART-studie (EC, 2016) geldig (Rolain et al., 2018).

4.1.4 Directe en indirecte bijdrage aan de economische activiteit

Een eerste bijdrage in termen van toegevoegde waarde betreft de activiteit van netwerkoperatoren en -beheerders, aanbieders van infrastructuur en apparatuur, aanbieders van toepassingen en diensten, belastingen enz. In deze groep vertegenwoordigen de verwachte inkomsten van de operatoren meer dan 60% van het totaal (GSMA, 2018a). Ook ditmaal hebben zich sinds het vorige rapport weinig nieuwe ontwikkelingen voorgedaan (Rolain et al., 2018). Het is echter vermeldenswaard dat de millimetergolfspectra (mmWave) tussen 24 GHz en 86 GHz een bijdrage van 565 miljard dollar zouden kunnen vormen in het wereldwijde bbp (GSMA, 2018c).

De positieve voordelen van het "netwerk"-effect van 5G zijn het onderwerp geweest van economische evaluaties en werden vermeld in het vorige verslag (Rolain et al., 2018 op mondiaal (Campbell et al., 2017) en Europees (EC, 2016) niveau.

Twee bijdragen worden overwogen:

Een eerste bijdrage heeft betrekking op de activiteiten van leveranciers van apparatuur, operators en netwerkoperators. Alleen cijfers voor de EU (28) konden worden gevonden. De benodigde financiering in de EU (28), die 56,6 miljard euro in 2020 en 58 miljard euro in 2025 (EG, 2016) zou bedragen.

De andere bijdrage heeft betrekking op directe en indirecte effecten (veroorzaakte effecten) in verband met het gebruik van het netwerk. Globaal wordt het effect van 5G in termen van wereldwijde verkoop van goederen en diensten geschat op 12,3 biljoen dollar in 2035, wat 4,6% van de wereldwijde productie betreft (Campbell, 2017). Op Europees niveau zou de jaarlijkse directe "winst" in vier verticale sectoren (auto, gezondheid, vervoer en energie) en indirecte (geïnduceerde) maatschappelijke sectoren (industrie, 63% en consumenten 37%) in totaal 113,1 miljard euro per jaar bedragen (EG, 2016). Sindsdien zijn er weinig nieuwe elementen bijgekomen.

4.1.5 Tewerkstelling

In het vorige verslag werd het scheppen van banen op lange termijn behandeld (Rolain et al., 2018). Maar op korte termijn kunnen er banen verloren gaan, met name bij de operatoren, die hun kosten willen drukken. Om het uit te drukken met de woorden van Jeff McElfresh van de reus AT&T: *"To win in this new world, we must continue to lower costs and keep getting faster, leaner, and more agile. This includes reductions in our organization, and others across the company, which will begin later this month and take place over several months."* (Brodkin, J., 2019). We hebben duidelijk te maken met een mechanisme dat zowel banen schrappt als scheidt, geaccentueerd door de concurrentie en de wedloop naar leiderschap.

4.1.6 Infrastructuren (antennes en zendmasten)

5G is gebaseerd op drie belangrijke frequentiebanden om een brede dekking en alle gebruiksmogelijkheden mogelijk te maken. Deze drie frequentiebanden zijn ofwel lager dan 1 GHz (700 MHz) voor brede dekkingen en IoT, ofwel tussen 1 en 6 GHz (3,6-3,7) ofwel hoger dan 6 GHz (24-28) om zeer snelle hoge bandbreedtes te garanderen. Dit alles vereist de aanpassing van bestaande antennes, bijkomende antennes voor nieuwe frequenties en bijkomende kleine cellen (antennes > 6 GHz). Voor deze laatste moet een dicht netwerk geïnstalleerd worden (150 per km² of meer), wat vrij duur kan zijn²² (Grijping, F. et al., 2018a) rekening houdend met de kosten van de antenne, de locatie, de stroomvoorziening, het onderhoud enz. Bovendien zijn voor elke antenne vergunningen vereist van de landeigenaar en de lokale autoriteiten. Dit kan meer dan een jaar duren, terwijl het volgens Sprint een dag duurt om de antenne te installeren. Deze situatie kan onhoudbaar zijn voor grootschalige verdichting (5gamericas.org en smallcellforum.org 2018). Een mogelijke oplossing is het delen van masten/antennes tussen operatoren, zoals in de overeenkomst tussen Telefonica UK en Vodafone UK in Groot-Brittannië (Morris, A., 2019). Als voor het 5G-netwerk een meerkost van 86% wordt gerekend, dan kan die meerkost met gedeelde netwerken worden beperkt tot 57% (Grijping, F. et al., 2018b). Daarnaast zijn er mogelijkheden voor integratie in de stedelijke infrastructuur: straatverlichting, verkeersborden enz.

In Europa is het vermeldenswaard het bestaan van Richtlijn 2014/61/EU (richtlijn betreffende de vermindering van de kosten van breedband), vermeldenswaardig, die tot doel heeft goedkope netwerken te bevorderen, met name door middel van

- i) "het gezamenlijke gebruik van bestaande fysieke infrastructuur";
- ii) en synergiën tussen sectoren voor een efficiëntere opbouw van nieuwe fysieke infrastructuur" (EG, 2014).

Daarnaast voorziet de meest recente wijziging van Richtlijn 2018/1972/EU (Richtlijn tot vaststelling van de Europese Code voor Elektronische Communicatie) onder meer in een vermindering van de regelgeving, maar ook in het stimuleren van co-investeringen voor de uitrol van nieuwe netwerken zoals die van 5G (EC, 2019).

De totale kosten van de implementatie van 5G wereldwijd en in Europa zijn in het vorige verslag besproken.

Wat betreft de kosten van antennes in verband met de naleving van steeds strengere emissienormen, werd voor 5G geen informatie gevonden. In 2013 werd echter op verzoek van Zwitserse operatoren een PWC-studie uitgevoerd (Mathis, A. et al., 2013) om vergelijkingen te maken met enkele Europese landen in de frequentiebanden van 900 MHz en 2100 MHz. Volgens die studie bedragen de mobiele meerkosten 24,9 tot 34,5% voor de naleving van de Zwitserse norm (4 V/m (900 MHz) en 6 V/m (2,3 GHz)) in vergelijking met Duitsland, Oostenrijk en Frankrijk, die voldoen aan de ICNRIP-norm (41 V/m (900 MHz) en

²² Zie § Belemmeringen

61 V/m (2,3 GHz)). Deze meerkosten bedragen ook 24,9% voor Italië, dat voldoet aan normen die dicht aanleunen bij die van Zwitserland. Met het besluit van de Zwitserse autoriteiten om de strenge normen te handhaven voor de implementatie van 5G, valt te verwachten dat de netwerkkosten er hoog blijven, omdat er meer antennes met een lager vermogen nodig zullen zijn. In het algemeen vereist het voorziene gebruik van hoge frequenties voor 5G echter automatisch een groter aantal kleine antennes.

4.1.7 Overheidsfinanciering - Inkomsten uit spectrumtoewijzing

Ter aanvulling op de informatie uit ons vorige rapport (Rolain et al., 2018). Het is belangrijk erop te wijzen dat de Europese Commissie de digitale interne markt blijft steunen via haar onderzoeksprogramma's (H2020). Daar komt nog de financiële steun bij van de EIB, die 500 miljoen euro heeft geïnvesteerd in Nokia voor zijn bijdrage aan de ontwikkeling van 5G. Ook in China hebben producenten van apparatuur, zoals ZTE en Huawei, subsidies gekregen (72 miljoen dollar) voor hun bijdrage aan de ontwikkeling van 5G (Pujol, J. et al., 2019).

Voor de belastingtarieven en de prijzen van de spectrumvergunningen houdt de overheid rekening met verschillende criteria, zoals:

i) *“betaalbare consumentenprijzen;*

ii) *duurzame investeringen voor de operatoren (antennes, aankoop van frequenties);*

iii) *optimale inkomstenniveaus voor de staten.*

De combinatie van deze drie doelstellingen is een complexe oefening” (Delannoy, E., 2018).

In het enthousiasme voor de ontwikkeling van 5G en voor de frequentieaankopen worden door regelgevers/overheden veilingen georganiseerd voor operatoren die vergunningen willen verwerven voor de aanvullende frequenties in de banden van 600-700 MHz, 3,4-3,7 GHz en 26 GHz en hoger. De bedragen van deze veilingen worden één voor één gecommuniceerd. Ze bereiken vrij hoge bedragen, wat de beschikbaarheid van grote budgetten eist en garanties vraagt voor een langdurig (10-20 jaar) licentiegebruik. Zo bedroegen de veilingen in Italië bijvoorbeeld 4,42 miljard euro (5G Observatory, 2019), waarvan 2,2 miljard euro voor middelgrote frequenties. In Zwitserland hebben de drie operatoren hun 5G-licenties verworven voor 379 miljoen dollar voor een periode van 15 jaar (5G Observatory, 2019). Voor de operatoren kunnen dergelijke bedragen compenserende gevolgen hebben in de vorm van banenverlies en het behoud van hun concurrentievermogen.

Bij sommige operatoren wordt geen tariefverhoging verwacht in vergelijking met 4G. Bij andere wel (abonnementen, router).

4.1.8 Dienstverlening

De toepassingen die baat hebben bij het 5G-netwerk zijn talrijk en nog gedeeltelijk onbekend (deze moeten nog gedeeltelijk uitgevonden worden). Hun capaciteit zal worden vergroot door een zeer hoge bandbreedte, kortere latentietijden en de mogelijkheid van meerdere al dan niet draadloze interconnecties. Hun bijdragen hebben betrekking op drie concepten (GSMA, 2018d; Campbell, K., et al., 2017):

- i) het 'massale internet der dingen' (IoT), dat de vorige 'machine-tot-machine'-acties (M2M) voortzet/verbetert. Het massale internet der dingen betreft de communicatie tussen apparaten. Hun toepassingen zijn talrijk en betreffen de volgende sectoren: energie, vervoer en infrastructuur, gezondheid, slimme steden, slimme gebouwen, openbaar bestuur, onderwijs, retail en financiële diensten;
- ii) verbetering van de mobiele breedband (uitbreiding van de cellulaire dekking, met inbegrip van kantoren, industrieparken, winkelcentra enz. in ontwikkeling);
- iii) en tot slot cruciale kritieke toepassingen (autonome voertuigen, intelligente netwerken, complexe automatisering) gepland voor de toekomst.

Bij IoT-toepassingen en M2M-communicatie worden zeer grote hoeveelheden gegevens overgedragen. GSMA voorspelt 3,1 miljard IoT-aansluitingen in 2025 (GSMA, 2018d).

4.1.9 Belemmeringen

Naast de hierboven en in het vorige verslag reeds genoemde belemmeringen in termen van kostenstijgingen voor operatoren, moeten we ook de belemmeringen in verband met de veiligheid vermelden. De 5G-infrastructuur omvat immers miljarden zeer snelle verbindingen tussen terminals, machines, auto's, enz., wat de veiligheid scherp in vraag stelt. Momenteel wordt Huawei, een van de grootste leveranciers van apparatuur, verdacht van industriële spionage, terwijl het al enkele jaren betrokken is bij Europese, Australische en andere markten. Vertragingen zijn mogelijk bij heronderhandelingen door operatoren als Vodafone, Orange en Deutsche Telekom, onder druk van hun respectieve regeringen (Lyon, J., 2019).

Bibliografie

5G americas.org. and smallcellforum.org , 2018: “Small cell siting challenges and recommendations” - 43 p.

5G Observatory, 2019: Archive for the ‘5G auctions’ <https://5gobservatory.eu/category/5g-auctions/>

Bell, P., 2018: “5G in the Foreground in U.S. and Canada” TeleGeography’s GlobalComms Database - 6p.

Brodkin, J., 2019 “AT&T plans layoffs despite claiming tax cut would create 7,000 jobs” Ars Technica news letter, 1/9/2019

Campbell, K., Di ley, J., Flanagan, B., Morelli, B., O’Neil, B. Sideco, F. 2017 “The 5G economy: How 5G technology will contribute to the global economy ?” IHS ECONOMICS & IHS TECHNOLOGY - 34 p.

Cerwall, P., Lundvall, A., Jonsson, P., Carson, S., Möller, R., Lindberg, P., Öhman, K., Sorlie, I., Queirós, R., Muller, F., Englund, L., Arvedson, M., Carlsson, A., 2018: Ericsson Mobility Report, Nov 2018 - 32 p.

Delannoy, E., 2018: “investments in 5G” ITU Regional Seminar 5G implementation in Europe and CIS, Budapest, 3 July 2018 – 15 p.

DESI (Digital Economy and Society Index), 2018: “Connectivity Broadband market developments in the EU” - 52 p.

EC, 2014: “Directive 2014/61/UE du parlement européen et du conseil du 15 mai 2014 relative à des mesures visant à réduire le coût du déploiement de réseaux de communications électroniques à haut débit”. Journal Officiel L 155, 23.5.2014, p. 1–14

EC, 2016: “Identification and quantification of key socio-economic data to support strategic planning for the introduction of 5G in Europe”. SMART 2014/0008 – Tech4i2^[SEP]; Real Wireless^[SEP]; CONNECT, Trinity College Dublin; InterDigital - Publications Office of the European Union , Luxembourg - 114 p.

EC, 2018: “Directive (EU) 2018/1972 du parlement européen et du conseil du 11 décembre 2018 établissant le code des communications électroniques européen”. *Journal Officiel L 321/36, 17.12.2018, p. 36–210*

Grijpink, F., Ménard, A., Sigurdsson, H. and Vucevic , N., 2018a: “The road to 5G: The inevitable growth of infrastructure cost”. McKinsey&Company. Article, February 2018

Grijpink, F., Ménard, A., Sigurdsson, H. and Vucevic , N., 2018b: “Network sharing and 5G: A turning point for lone riders “. McKinsey&Company. Article, February 2018

GSMA, 2018a: “The Mobile Economy 2018” GSMA Intelligence - 56 p.

GSMA, 2018b: "The Mobile Economy Europe 2018 " GSMA Intelligence - 41 p.

GSMA, 2018c: "Study on socio-economic benefits of 5g services provided in mmwave bands " - GSMA The WRC Series - 61 p.

GSMA, 2018d: "New gsma report highlights integral role of mobile iot networks in 5g future" GSMA Press release, May 15, 2018

Juniper, 2017: Juniper Research Press release - 2017

Hatt, T. and Lacopino, P., 2018: "5G in China: the enterprise story" - GSMA - 25 p.

Lyons, J., 2019: "Vodafone Suspends Huawei Networking Equipment Purchases"

SDxCentral's Newsletter, January 25, 2019

Manero, C., Pujol, F., 2018: IDATE DigiWorld News letter, 25 juin 2018

Mathis, A., Sutter, B., Kartscher, P., 2013: "Mobile network cost study - Analysis of cost drivers related to the construction, operation and maintenance of mobile networks" PWC - 60 p.

Morris, A., 2019: "Telefónica and Vodafone Add 5G to UK Network Sharing Accord" - SDxCentral's Newsletter, January 23, 2019

Pujol, F., Manero, C., Jaffal, T., 2019: 5G Observatory – Quarterly Report 2 - IDATE DigiWorld - 65 p.

Rolain, Y., Beauvois, V., Erzeel, D., Hecq, W., Lagroye, I., Pollin, S., Rebreau, L., Vanderstreaten, J., Verschaeve, L., 2018 : "Rapport du comité d'experts sur les radiations non ionisantes 2017-2018" - Bruxelles-Environnement - 34 p.

Sue, M., 2018: "Ericsson Predicts There Will Be 1.5 Billion 5G Subscribers in 6 Years". SDxCentral's Newsletter, November 27, 2018

Swisscom, 2018 : "Swisscom veut déployer la 5G sur 60 sites d'ici fin 2019" - <https://www.swisscom.ch/fr/about/medien/.../60-sites-d-ici-2019-avec-la-5g.html>

Vodafone, 2018: "Vodafone italy acquires spectrum for 5G services" Vodafone Group,

<https://www.vodafone.com/.../vodafone.../vodafone-italy-acquires-...>

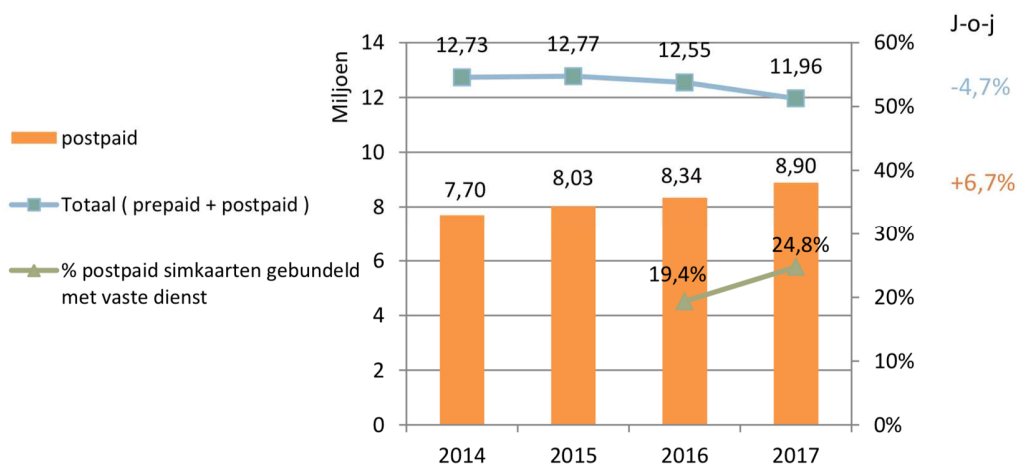
Wieland, K., 2019 : "50,000 5g smartphone arrivals in the UK during 2019" 5G Newsletter, 21 January 2019

4.2 Sociaaleconomische aspecten

4.2.1 Situering mobiele telecomsector in België

4.2.1.1 De Belgische mobiele markt

De Belgische mobiele markt telde eind 2017 in totaal 11,96 miljoen simkaarten, inclusief de drie netwerkkoperatoren, de MVNO²³s en exclusief M2M (machine-to-machine). Dit is een daling van 4,7 procent op jaarbasis. De daling komt uit de afname van het aantal prepaid-klienten: -27,2% tot 3,06 miljoen. De mobiele postpaid klantenbasis blijft groeien, met toevoeging van 556.266 simkaarten tot een totaal van 8,9 miljoen eind 2017 (+6,7%). 24,8% hiervan maakt deel uit van een bundel met een vaste dienst versus 19,4% een jaar eerder. Deze trend is een afspiegeling van de groeiende voorkeur van consumenten voor bundels die vaste en mobiele diensten combineren. Het aantal machine-to-machine simkaarten komt eind 2017 uit op 2.384.188, +8,1% meer op jaarbasis²⁴.



Figuur 12 - Samenstelling mobiele markt. Bron: Status van de elektronische communicatie – en tv-markt in 2017, BIPT (2018), https://www.bipt.be/public/files/nl/22524/2017_Statistisch-verslag_nl.pdf

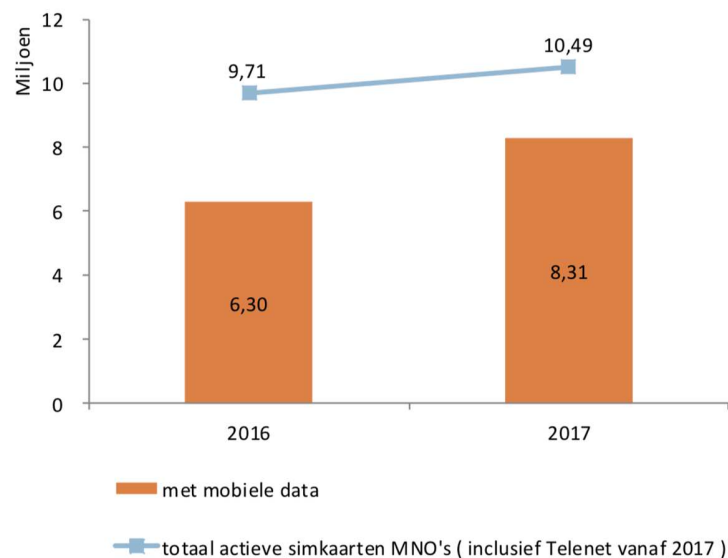
De MVNO markt krimpt als gevolg van de acquisitie van Base door Telenet in februari 2016. Door deze overname worden de klanten van Telenet die worden gehost op het netwerk van Orange, geleidelijk gemigreerd naar het netwerk van Base. Deze migratie, die eind 2017 voor 90% is voltooid, leidt tot een

²³ MVNO: Mobile Virtual Network Operators

²⁴ Bron: Status van de elektronische communicatie – en tv-markt in 2017, BIPT (2018), https://www.bipt.be/public/files/nl/22524/2017_Statistisch-verslag_nl.pdf, geraadpleegd op 25/02/2019.

verhoging van het marktaandeel van de mobiele netwerkoperatoren (MNO) van 77,3% naar 87,7% (95% inclusief light MVNO). Het marktaandeel van de full MVNO-klienten zakt terug van 15,3 % naar 4,8%.

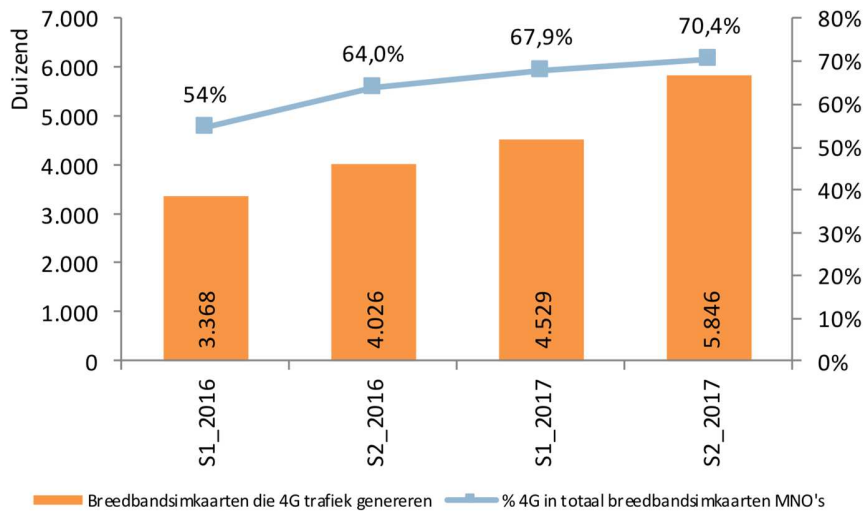
Mobiel breedband blijft verder groeien: iets meer dan 79% van de actieve simkaarten van de mobiele netwerkoperatoren (inclusief Telenet vanaf 2017) gebruiken mobiele data versus 65% een jaar eerder.



Figuur 13 - Mobiele breedband gebruik. Bron: Status van de elektronische communicatie – en tv-markt in 2017, BIPT (2018), https://www.bipt.be/public/files/nl/22524/2017_Statistisch-verslag_nl.pdf

Inclusief de MVNO's Scarlet en Nethys telt men eind 2017 iets minder dan 8,6 miljoen breedbandsimkaarten: + 14,8 % j-o-j. De meeste breedbandsimkaarten worden gebruikt in smartphones (93,2 %) eerder dan in tablets/PC's (6,8%).

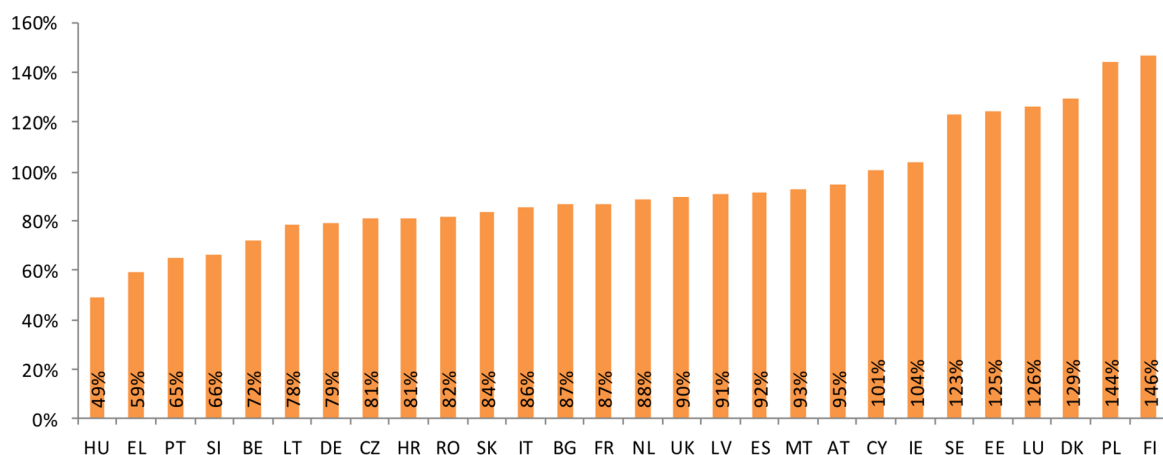
4G wordt meer gebruikt. Van de 8,306 miljoen actieve simkaarten die worden aangeboden op het eigen netwerk genereert 70,4% 4G trafiek, +6,4 procentpunten j-o-j.



Figuur 14 - Gebruik 4G. Bron: Status van de elektronische communicatie – en tv-markt in 2017, BIPT (2018), https://www.bipt.be/public/files/nl/22524/2017_Statistisch-verslag_nl.pdf

De penetratiegraad voor mobiel breedband is in 2017 sterk vooruit gegaan. Per 100 Belgen zijn er eind 2017 75,6 datasimkaarten: 9,3 meer dan eind 2016. Over de periode 2015-2017 bedraagt de gemiddelde semestriële groei 6,1%.

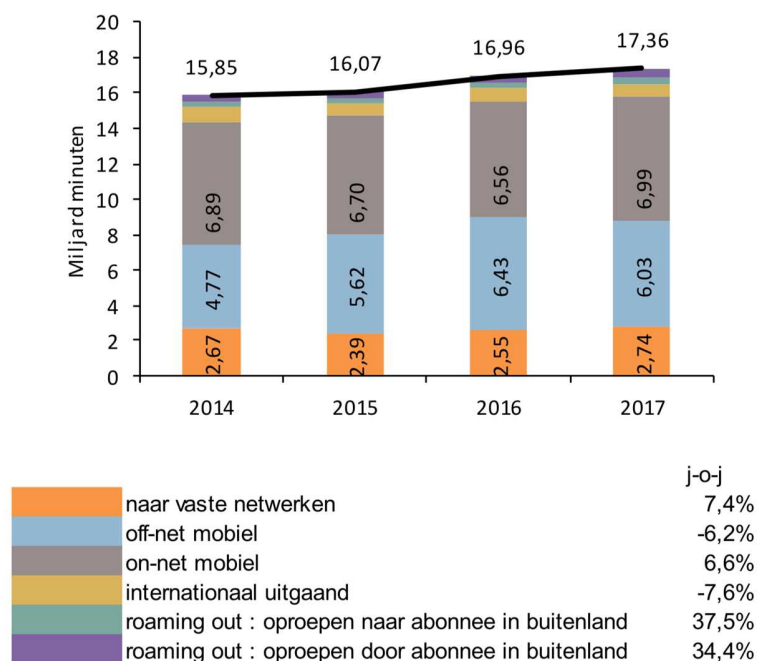
Met een penetratie van 72% voor eind juli 2017 bekleedt België de 24ste plaats in de EU-28 rangschikking. Deze positie is ongewijzigd ten opzichte van juli 2016.



Figuur 15 - Penetratiegraad mobiel breedband EU-28. Bron: Status van de elektronische communicatie – en tv-markt in 2017, BIPT (2018), https://www.bipt.be/public/files/nl/22524/2017_Statistisch-verslag_nl.pdf

4.2.1.2 Het mobiele spraakverkeer

Het mobiele spraakverkeer van retailklanten (exclusief oproepen naar voice mail, inclusief roaming) groeide met 397,3 miljoen minuten tot 17,36 miljard in 2017. De roaming out oproepen kenden de grootste groei: +37,5% voor oproepen naar abonnees in het buitenland en +34,4% voor oproepen door abonnees in het buitenland. Hiermee klimt het aandeel van roaming out in het totaal mobiel spraakvolume van 3,9 naar 5,1%.



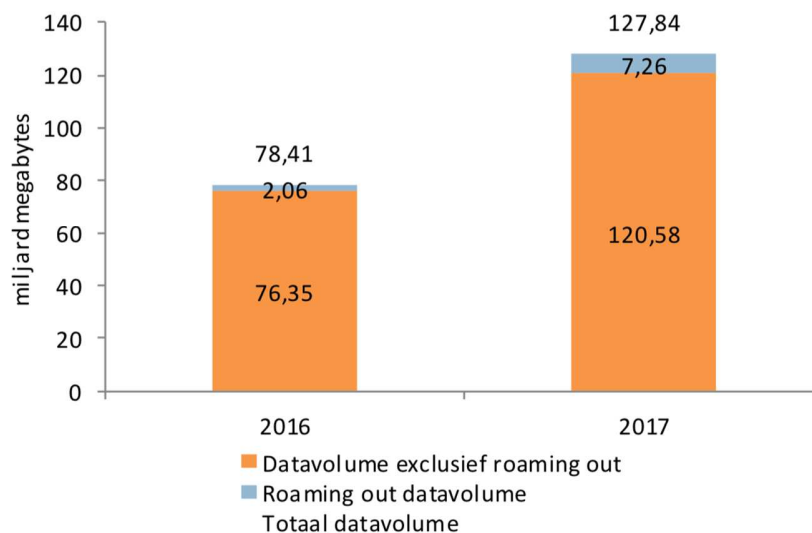
Figuur 16 - Aantal minuten mobiel spraakverkeer. Bron: Status van de elektronische communicatie – en tv-markt in 2017, BIPT (2018), https://www.bipt.be/public/files/nl/22524/2017_Statistisch-verslag_nl.pdf

Onder impuls van de invoering van RLAH (“Roaming Like At Home”) groeit ook het verkeer dat door buitenlandse roaming bezoekers wordt gegenereerd op de Belgische mobiele netwerken: +52% tot 925 miljoen minuten in 2017.

4.2.1.3 Mobiele datagebruik

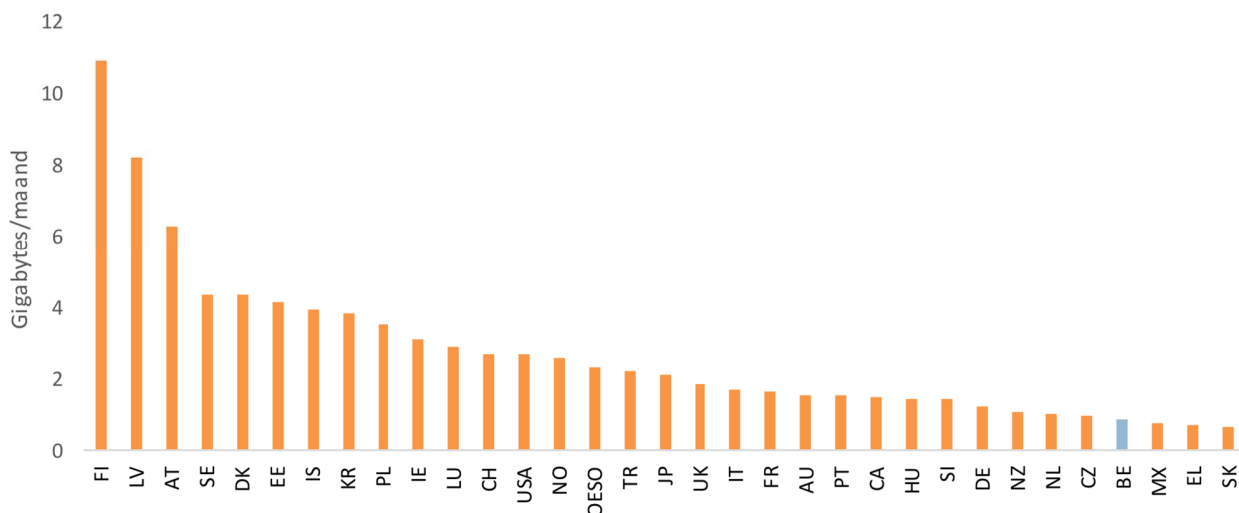
Het mobiele datagebruik stijgt op jaarbasis met 63% tot 127,8 miljard megabytes, mede aangedreven door de toename van het aantal 4G simkaarten en door de invoering van RLAH: +253%, wat duidt op een significante elasticiteit van deze dienst.

Ook de verhoging van het inbegrepen datavolume voor bundelabonnees vormt een stimulans. Sinds 23 juni 2017 omvatten de Wigo-bundels van Telenet een verbeterde hoeveelheid mobiele data die kan gedeeld worden over de leden van het gezin. De Tuttimus pack klanten bij Proximus genieten sedert 1 augustus 2017 van een verhoogd inbegrepen datavolume dat kan oplopen tot het dubbele. Tot slot gaf Orange vanaf 14 september 2017 alle postpaid abonnementen die deel uitmaken van zijn convergente LOVE-bundel elke maand 100% mobiel internet extra waarvoor niets hoeft te worden bijbetaald.



Figuur 17 - Mobiel datagebruik. Bron: Status van de elektronische communicatie – en tv-markt in 2017, BIPT (2018), https://www.bipt.be/public/files/nl/22524/2017_Statistisch-verslag_nl.pdf

Het gemiddeld mobiel datagebruik per maand per actieve datasimkaart doorbreekt de grens van 1 gigabyte (1,17 gigabyte/maand). In vergelijking met andere OESO-landen verbruiken de Belgen weinig data. Het maandelijks gemiddeld dataverbruik in 2016 ligt met 0,8 gigabytes per maand ver onder het OESO- gemiddelde van 2,3 gigabytes. Dit is in belangrijke mate te verklaren door het feit dat WiFi netwerken nagenoeg overal beschikbaar zijn in ons land.



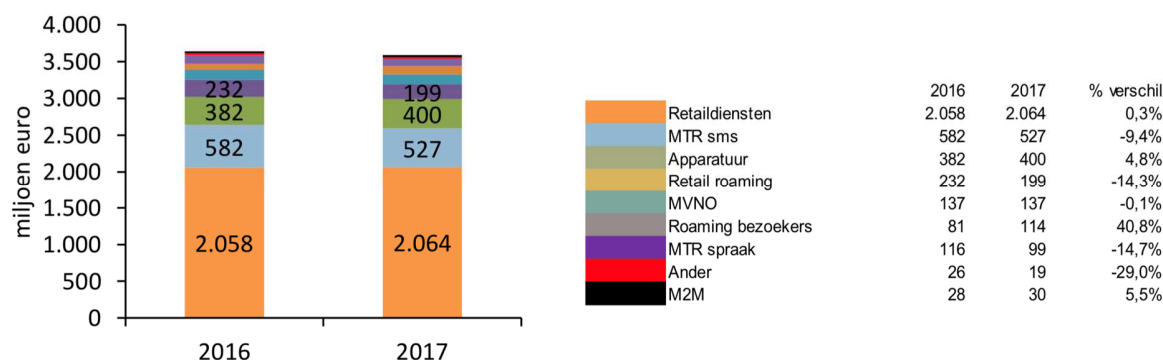
Figuur 18 - Vergelijking mobiel datagebruik OESO-landen. Bron: Status van de elektronische communicatie – en tv-markt in 2017, BIPT (2018), https://www.bipt.be/public/files/nl/22524/2017_Statistisch-verslag_nl.pdf

Opgesplitst naar technologie kan men vaststellen dat zowel het 3G-verkeer als het 4G-verkeer een stijging laten zien, respectievelijk met 7,4% en 122,2%. Omdat er echter steeds meer verkeer via het 4G netwerk wordt afgewikkeld wordt het belang van 3G wel kleiner. Dit weerspiegelt zich in een afname van het aandeel van 3G in het totaal mobiel verkeer van 33,1% naar 19,3%.

In termen van het gemiddeld maandelijks datavolume groeit enkel 4G (+53%). Het gemiddeld maandelijks datavolume per 3G datasimkaart daalt lichtjes met 1% en blijft onder de grens van 1 gigabyte/maand.

4.2.1.4 Omzet telecom operatoren

Voor het tweede opeenvolgende jaar daalt de totale mobiele omzet van de mobiele netwerkoperatoren : -1,5% tot 3,588 miljard euro. De omzet wordt negatief beïnvloed door de absolute daling van de wholesale omzet uit sms (-55 miljoen euro) en uit retail roaming (-33 miljoen euro). Ook de wholesaleomzet uit spraak ging achteruit (-17 miljoen euro) door de verlaging van het gereguleerde groothandelstarief voor gespreksafgifte op mobiele nummers van 1,18 eurocent/minuut naar 0,99 eurocent/minuut. De globale daling kan worden beperkt door de groei van de wholesaleomzet uit roaming van bezoekers (+ 33 miljoen), uit apparatuur (+18 miljoen), uit retaaldiensten (+ 7 miljoen euro) en uit m2m (+2 miljoen euro).



Figuur 19 - Samenstelling omzet telecom operatoren. Bron: Status van de elektronische communicatie – en tv-markt in 2017, BIPT (2018), https://www.bipt.be/public/files/nl/22524/2017_Statistisch-verslag_nl.pdf

4.2.2 Rechtstreekse en onrechtstreekse bijdrage aan de economische ontwikkeling van de Belgische en Brusselse digital sector en bijdrage aan de werkgelegenheid

4.2.2.1 De ICT-sector in België: belang en inbreng van het telecommunicatiesegment

De information and communication technologies (ICT)-sector in België is hoofdzakelijk een dienstensector aangezien 94% van de ondernemingen die daarin actief zijn onder de bedrijfstak van de dienstensector vallen. Bedrijven die commerciële activiteiten ontwikkelen, zijn goed voor 4,6% van de sector, terwijl de verwerkende industrie slechts 1,3% van alle bedrijven vertegenwoordigt. Binnen de dienstensectoren speelt de bedrijfstak Programmering, consultancy en andere ICT-activiteiten (62) de belangrijkste rol, met meer dan 72% van de personeelsbestanden in 2016. *De telecombedrijven (61) zijn het op een na grootste contingent in de sector.* Wat de dynamiek betreft: het aantal ondernemingen in de sector is tijdens de observatieperiode (2012-2016) met 7,5% toegenomen, voornamelijk als gevolg van de groei van het aantal ondernemingen in bedrijfstak 62 (zie hoger). De bedrijfstakken met de grootste inkrimping van het personeelsbestand waren tak 26.8 (vervaardiging van optische en magnetische media) (-3,3%), maar met slechts een heel klein aantal ondernemingen dat daarin actief is en bedrijfstak 61 (zie hoger) (-36,6%).

Algemeen gesteld, geldt voor België dat, op basis van de index van de digitale economie en maatschappij (DESI)²⁵ met een totaalscore van 0,61 België op de 8e plaats staat op de DESI-ranglijst 2018. Hoewel onze score verbeterd is ten opzichte van 2016 (0,59), is ons land toch twee plaatsen gezakt op de ranglijst ten voordele van het Verenigd Koninkrijk en Ierland. België behoort echter tot de koplopersgroep (samen met Denemarken, Zweden, Finland, Nederland, Luxemburg, Ierland, en het Verenigd Koninkrijk). Sterke punten van België zijn de uitstekende connectiviteit met een zeer hoge breedbanddekkings- en breedbandgebruiksgraad. *Op dat vlak moet België echter het gebruik van mobiele breedband verder aanmoedigen.* Een andere troef van België ligt in de succesvolle integratie van digitale technologieën in ondernemingen. De digitale vaardigheden van de Belgen zijn goed, maar verbeteren niet. Ons land heeft te kampen met een laag percentage afgestudeerden in exacte wetenschappen, technologie, engineering en wiskunde (STEM). Wat de beschikbaarheid en het gebruik van digitale overheidsdiensten betreft, scoort België matig²⁶.

België neemt de 5e plaats in op het vlak van connectiviteit. België is een plaats gezakt ten opzichte van de rangschikking van 2017. De sterke punten van België hebben betrekking op de NGA-dekking voor snel breedbandinternet (tweede plaats) en de gebruiksgraad ervan (tweede plaats), de dekking qua ultrasnel breedbandinternet (derde plaats) en de gebruiksgraad ervan (derde plaats). *Twee zwakke punten moeten hier vermeld worden: het gebruik van mobiel breedbandinternet, waarvoor we in de EU-28 een bescheiden 24e plaats innemen. Hoewel onze prestaties al een aantal jaren gestaag verbeteren, zijn we er niet in geslaagd onze achterstand op andere EU-landen in te lopen.* De prijsindex voor breedband is ons tweede aandachtspunt aangezien we daar in de EU-28 op de 19e plaats belanden. Voor dat laatste punt, worden onze prestaties waarschijnlijk beïnvloed door het feit dat Belgische operatoren geen internetabonnementen aanbieden met snelheden van minder dan 30 Mbps, waardoor de gemiddelde prijs voor breedband in ons land overgewaardeerd is in vergelijking met de landen waar dat soort abonnementen wel bestaat.

Verder steeg in 2017 het aandeel van de omzet die Belgische ondernemingen uit de e-commerce haalden boven de grens van 30% en ligt die nu op 31,4% (tegenover 25,4% in 2015 en 28,6% in 2016). 60% van de omzet die wordt gehaald uit de e-commerce wordt gegenereerd door transacties van het type EDI²⁷ terwijl 40% wordt gegenereerd door verkoop via een klassieke website. Met een aandeel van 31,4%, scoren ondernemingen in België duidelijk beter dan Europese ondernemingen (18,3%) en dan de ondernemingen in de buurlanden waar het aandeel tussen 13,8% (Luxemburg) en 20,7% (Duitsland) schommelt.

²⁵ In het Engels 'Digital Economy and Society Index', hierna afgekort tot 'DESI': samengestelde index ontwikkeld door de Europese Commissie DG CNECT om de ontwikkeling van de landen van de Europese Unie in de richting van een digitale economie en samenleving te kunnen beoordelen. De index omvat 34 relevante indicatoren, opgebouwd rond vijf componenten: connectiviteit, menselijk kapitaal, internetgebruik, integratie van digitale technologie en digitale overheidsdiensten. De totale score van de DESI wordt berekend als een gewogen gemiddelde van de genormaliseerde indexen van elk van de vijf onderdelen: connectiviteit (25%), menselijk kapitaal (25%), internetgebruik (15%), integratie van digitale technologie (20%) en digitale overheidsdiensten (15%).

²⁶ Bron: Barometer van de informatiemaatschappij 2018, FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, <https://economie.fgov.be/nl/publicaties/barometer-van-de-4>, geraadpleegd op 27/2/2019.

²⁷ EDI: Electronic Data Interchange – elektronische data-uitwisseling ter vervanging van de papieren data-uitwisseling.

Verder heeft 99,6% van de ondernemingen toegang tot internet. De kleine ondernemingen komen steeds dichterbij: slechts 0,4% heeft nog geen toegang in 2017, tegenover 3% drie jaar eerder. 97,9% van de ondernemingen gevestigd in België heeft een internetbreedbandverbinding (vast of mobiel). Dat percentage is bijna 100% in de grote ondernemingen (99,8%) terwijl 2,4% van de kleine ondernemingen geen breedbandverbinding heeft. Ongeveer drie kwart van de Belgische ondernemingen (73%) gebruikt een mobiele breedbandverbinding, wat hoger ligt dan het Europees gemiddelde (69%). Het gebruik van dat type verbinding ligt bijzonder hoog bij grote ondernemingen (95%) en middelgrote ondernemingen (86%). Van de kleine ondernemingen gebruikt 70% een breedbandverbinding (tegenover 64% in 2015, 71% in 2016). 40% van de Belgische bedrijven kopen cloudcomputingdiensten aan; dat is een stijging met 11,1 procentpunt op een tijdspanne van een jaar.

Het gebruik van dat type diensten varieert sterk naargelang de omvang van de onderneming: ongeveer drie op vier grote ondernemingen (76%) kopen betalende cloudcomputingdiensten, tegen ongeveer een op twee van de middelgrote ondernemingen (49%) en iets minder dan vier op de tien kleine ondernemingen (37%).

4.2.2.2 Omzet en investeringen van de telecomsector in België

De Federale Overheid Dienst (FOD)-economie hanteert onderstaande NACEBEL-codes voor de bepaling van het belang van de ICT-sector in België. Opvallend hierbij is dat volgens de bij Statbel²⁸ beschikbare gegevens de ondernemingen uit het segment 26.8 (zie tabel 1) een dalende trend qua tewerkstelling vertonen, dit daar zij via optische en magnetische media in vele gevallen aan cutting-edge onderzoek en ontwikkeling doen.

Tabel 2 - Nacebel-codes ICT-sector België. Bron: Barometer van de informatiemaatschappij 2018, FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, <https://economie.fgov.be/nl/publicaties/barometer-van-de-4>, geraadpleegd op 27/2/2019.

ICT-sector

Definitie van de ICT-sector (a)

26.1	Vervaardiging van elektronische onderdelen en printplaten
26.2	Vervaardiging van computers en randapparatuur
26.3	Vervaardiging van communicatieapparatuur
26.4	Vervaardiging van consumentenelektronica
26.8	Vervaardiging van magnetische en optische media
46.5	Groothandel in informatica- en communicatieapparatuur [46.51 - 46.52]
58.2	Uitgeverijen van software [58.21 - 58.29]
61	Telecommunicatie [61.1 - 61.2 - 61.3 - 61.9]
62	Ontwerpen en programmeren van computerprogramma's, computerconsultancy- en aanverwante activiteiten [62.01 - 62.02 - 62.03 - 62.09]
63.1	Gegevensverwerking, webhosting [63.11 - 63.12]
95.1	Reparatie van computers en communicatieapparatuur en aanverwante activiteiten; webportalen [95.11 - 95.12]

²⁸ Statbel: <https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=447aa270-1a6a-4681-92f9-dffec708dadf>, geraadpleegd op 27/02/2018.

Wanneer naar de demografie van de ondernemingen (samenstelling en evolutie van de cohorte aan actieve ondernemingen) gekeken wordt, dewelke deel uitmaken van bovenstaande segmenten, dan valt op dat het aantal ondernemingen relatief stabiel blijft, doch een groei van 7,5% vertoont.

Tabel 3 - Demografie ondernemingen actief in ICT in België

Demografie van ondernemingen

Tabel 2.26. Evolutie van het aantal ondernemingen in de ICT-sector

NACE	2012	2013	2014	2015	2016
26.1	149	148	156	162	133
26.2	185	191	178	177	175
26.3	105	100	94	95	86
26.4	89	84	85	86	86
26.8	15	9	7	6	7
46.5	1.777	1.764	1.748	1.746	1.741
58.2	563	553	558	573	596
61	5.849	6.232	4.830	3.979	3.769
62	22.783	23.495	24.220	25.478	27.106
63.1	2.497	2.599	2.681	2.821	2.958
95.1	938	931	934	933	910
TOTAAL	34.950	36.106	35.491	36.056	37.567

Bron: Btw-aangiften, FOD Economie - AD Statistiek - Statistics Belgium.

De omzet van de ICT-sector bedroeg 32,8 miljard euro in 2016. Tussen 2013 en 2016 steeg de omzet met 20,2%. De twee bedrijfstakken die het grootste deel van die omzet genereren, zijn tak 61 (36,4%) en tak 62 (34,7%). Interessant is dat de bedrijfstak "Telecommunicatie" een grotere omzet genereert dan de tak "Programmering, consulting en andere ICT-activiteiten", die bijna 8 keer zoveel bedrijven telt. Dat kan worden verklaard door de aanwezigheid van vele grote ondernemingen in tak 61, met name de belangrijkste telecomoperatoren in België. De evolutie van de omzet is positief voor alle takken behalve voor de takken 26.4 en 95.1.

Tabel 4 - Omzet ondernemingen actief in de Belgische ICT-sector. Bron: Barometer van de informatiemaatschappij 2018, FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, <https://economie.fgov.be/nl/publicaties/barometer-van-de-4>, geraadpleegd op 27/2/2019.

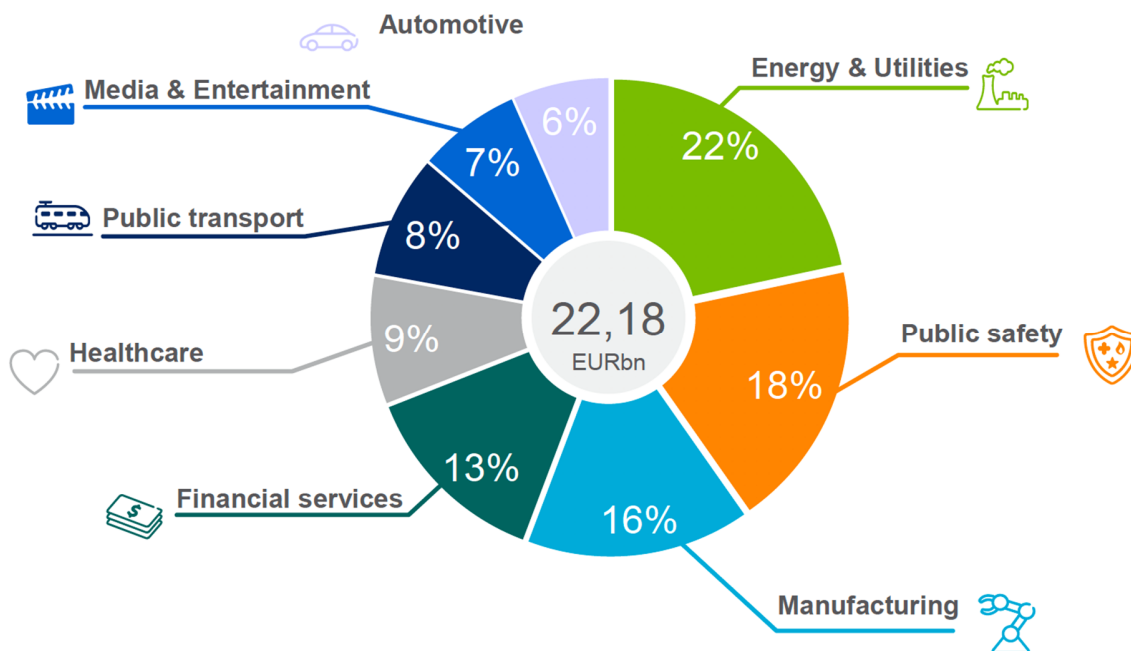
Omzet

Tabel 2.27. Evolutie van de omzet van de ICT-sector (in duizend euro)

	2013	2014	2015	2016
26.1	1.533.149	1.391.158	1.562.371	1.737.689
26.2	83.369	79.797	83.193	92.577
26.3	348.850	617.160	579.939	609.562
26.4	143.200	135.389	157.556	123.285
26.8				
46.5	3.083.602	3.437.817	3.689.292	4.221.687
58.2	81.363	99.505	104.372	116.933
61	11.455.926	11.621.355	11.935.497	11.946.863
62	8.061.457	8.840.786	10.203.702	11.368.960
63.1	2.421.457	2.406.985	2.476.190	2.515.880
95.1	72.084	64.496	83.973	53.003
TOTAAL	27.284.457	28.694.447	30.876.085	32.786.438

Bron: Bel-first (Bureau Van Dijk) en eigen berekeningen.

Verder valt op dat volgens cijfers, aangeleverd door Ericsson & Arthur D. Little, de omzet voor de ICT-spelers actief in België grotendeels bestaat uit omzet gegenereerd in ondersteuning en of uit business met de energieleveranciers, nutsbedrijven, de maakindustrie en de openbare orde. Wat opvalt is dat de automotive industrie, media en het openbaar vervoer een kleiner deel van de omzet betekenen.



Figuur 20 - Samenstelling omzet ICT-bedrijven in België. Bron: The 5G Business Potential, Industry digitalization and the untapped opportunities for operators – Executive summary, 2017, Ericsson NV.

De netto toegevoegde waarde in de ICT-sector kwam in 2016 uit op ruim 14,5 miljard euro, een stijging van 14% ten opzichte van 2013. Wat de omzet betreft, zijn takken 61 en 62 goed voor meer dan ¾e van de totale toegevoegde waarde in de ICT-sector. De bedrijfstakken met de sterkste groei qua toegevoegde waarde zijn respectievelijk tak 26.2 (+49,9%), tak 46.5 (+38,8%), tak 58.2 (+33,6%) en tak 62 (+24,1%). De evolutie van takken 26.8 en 95.1, die een marginale bijdrage leveren tot de toegevoegde waarde van de sector als geheel, is daarentegen teruggelopen in de loop van de periode.

Tabel 5: Toegevoegde waarde gerealiseerd door bedrijven actief in de Belgische ICT-sector.

Toegevoegde waarde

Tabel 2.28. Netto toegevoegde waarde in de ICT-sector (in duizend euro)

	2013	2014	2015	2016
26.1	675.790	541.650	677.487	691.898
26.2	34.795	39.956	43.646	52.169
26.3	375.505	417.547	400.742	435.012
26.4	55.574	51.473	52.449	56.872
26.8	2.042	2.303	1.771	1.852
46.5	408.500	447.019	426.847	566.881
58.2	76.249	83.653	98.857	101.895
61	5.296.247	5.419.285	5.485.912	5.612.078
62	4.508.852	4.474.054	4.847.055	5.597.790
63.1	1.267.670	1.260.371	1.320.699	1.376.218
95.1	46.654	42.569	42.569	36.732
TOTAAL	12.747.878	12.779.882	13.398.034	14.529.398

Bron: Bel-first (Bureau Van Dijk) en eigen berekeningen.

Tabel 6 - Investerings door ondernemingen ICT-sector in 2017

Groep	1ste kwartaal 2017 (€)	2de kwartaal 2017 (€)	3de kwartaal 2017 (€)	4de kwartaal 2017 (€)
26.1	3.739.000,00	6.427.000,00	4.034.000,00	7.542.000,00
26.2	1.832.000,00	-	984.000,00	-
26.3	1.238.000,00	2.052.000,00	1.529.000,00	1.736.000,00
26.4	3.642.000,00	3.557.000,00	1.167.000,00	1.459.000,00
26.8	16.648.000,00	21.262.000,00	16.099.000,00	37.323.000,00
46.5	14.929.000,00	10.688.000,00	8.783.000,00	24.246.000,00
58.2	1.862.000,00	2.118.000,00	2.064.000,00	7.567.000,00
61	283.491.000,00	272.284.000,00	221.987.000,00	373.873.000,00
62	110.951.000,00	99.212.000,00	95.293.000,00	125.486.000,00
63.1	57.276.000,00	-	61.662.000,00	97.514.000,00
95.1	967.000,00	823.000,00	-	859.000,00
Totaal per kwartaal	496.575.000,00	418.423.000,00	413.602.000,00	677.605.000,00

Het totaal volume aan investeringen voor 2017 in de Belgische ICT-sector bedroeg om en bij de 2 miljard euro. Naar 2018 toen tonen de cijfers verder aan dat het investeringsvolume gelijke tred hield tot het derde kwartaal van 2018. In onderstaande paragrafen zal nagegaan worden of de onduidelijkheid aangaande het veilen van de licenties voor 5G technologie en aangaande het introduceren van een vierde speler in de telecommarkt hier eventueel een rol in speelt.

Het aantal werkplekken in de Belgische ICT-sector bedroeg 102.142 eenheden in 2017, een stijging met 3,8% ten opzichte van 2016. Over de gehele observatieperiode nam het aantal werkplekken met 9,5% toe.

De bedrijfstakken die het meest bijdroegen tot die groei zijn de bedrijfstak 63.1²⁹ (gegevensverwerking & webhosting) (+ 32,6%) en de tak 62 (ontwerpen van computer programma's) (+ 24,8%). Interessant is de constante vermindering van het aantal werkplekken in de tak "Telecom" waaruit sinds enkele jaren de consolidering van die tak blijkt. Bijna ¾ van de werkplekken in de ICT-sector is in 2017 afkomstig van de activiteitensector 61 en 62. De industriële bedrijfstakken genereren slechts 7,3% van de werkplekken.

4.2.2.3 Economische situatie van de telecomsector in het Brusselse Hoofdstedelijke Gewest

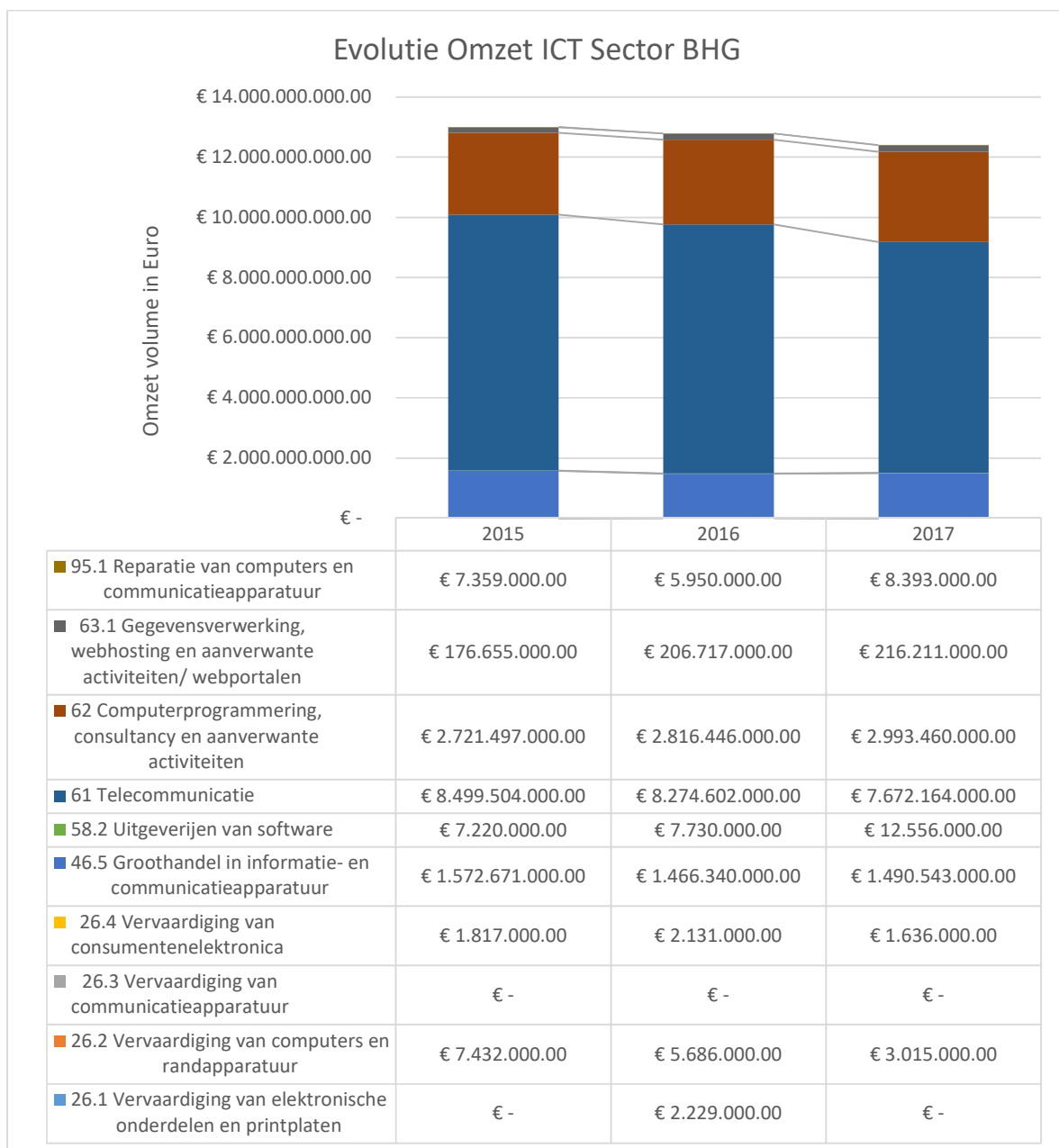
Onderstaande grafieken geven een overzicht van de economische situatie van de ganse ICT-sector uitgesplitst voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG). De eerste grafiek toont aan dat de ICT-sector in zijn geheel (zoals geconceptualiseerd door Statbel (zie hoger)) qua omzet daalt. Gemiddeld over de getoonde periode (2015-2017) neemt de omzet af met 1,556%.

Specifiek voor de telecommunicatiesector in de BHG tonen de cijfers aan dat de geassocieerde omzet om en bij de 8 miljard euro schommelt per jaar en dat ook hier een daling merkbaar is over de getoonde periode. Het relatief hoge totale omzetcijfer voor dit segment binnen de ICT-sector wordt veroorzaakt door het feit dat een aantal van de grote operatoren actief binnen België in het BHG gevestigd zijn. Dit zorgt er tevens voor dat de telecommunicatiesector binnen de ruimere ICT-industrie binnen het BHG goed is voor ongeveer 65% van de gerealiseerde omzet, met ook hier een lichte daling in 2017 (62% van de omzet).

Naast de telecomsector is het opvallend dat het segment aangaande computer-programming, consultancy en aanverwante activiteiten wel lijkt te stijgen qua gerealiseerde omzet. Binnen de ruimere ICT-industrie is dit segment goed voor de realisatie van om en bij de 21-24% van de gerealiseerde omzet binnen de regio.

Het segment groothandel in informatie- en communicatieapparatuur blijft over de geobserveerde periode relatief stabiel en maakt op zijn beurt om en bij de 12% uit van de gerealiseerde omzet binnen de ICT-sector in Brussel.

²⁹ De tak codes kunnen worden teruggevonden in tabel 1.

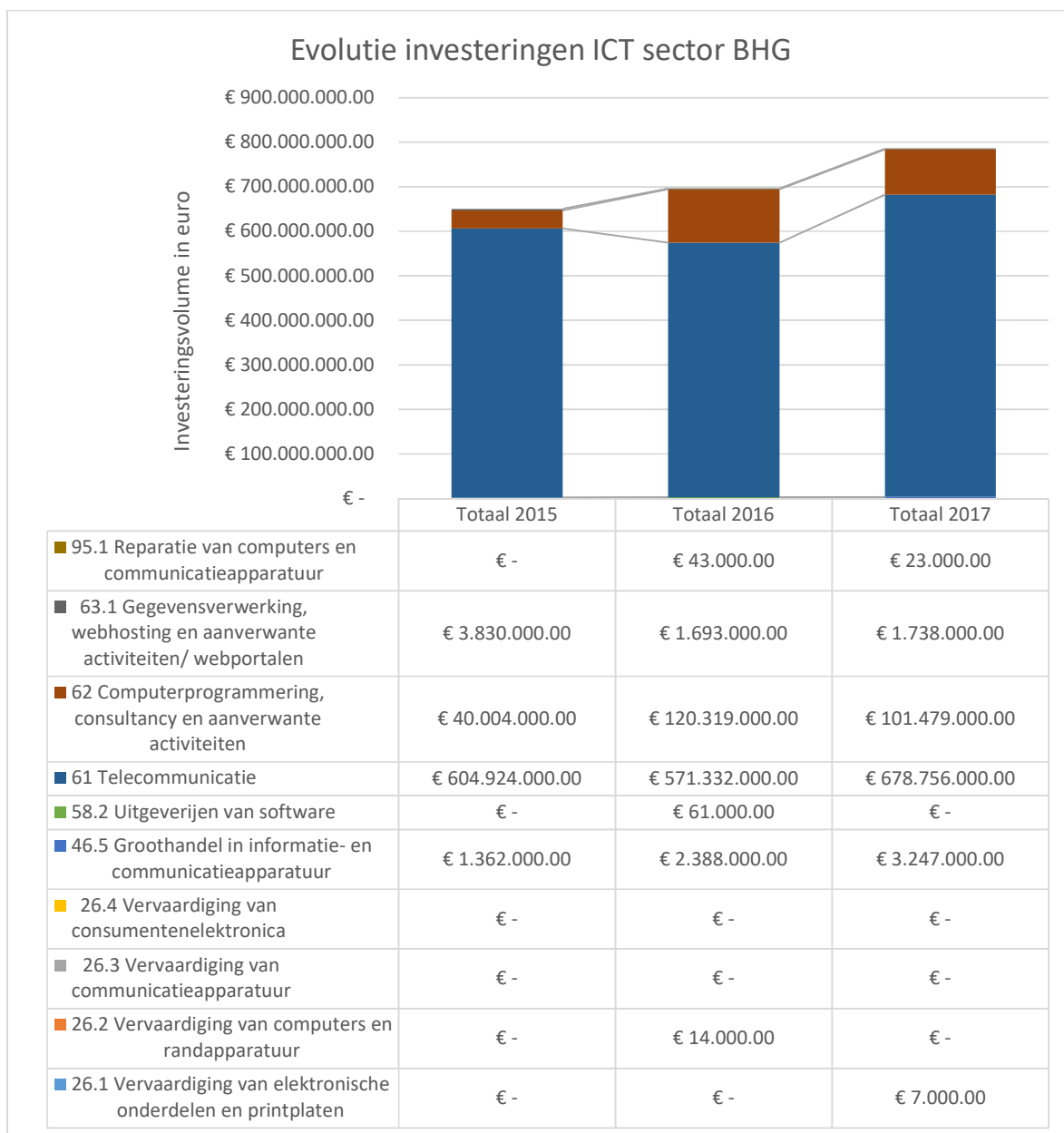


Figuur 21 - Evolutie omzet ICT-sector in BHG

Met betrekking tot de gemaakte investeringen, gebaseerde op de beschikbare informatie, valt op dat binnen de ICT-sector in het BHG, het totale investeringsvolume schommelt. Voor 2015 bedraagt het totale investeringsvolume om en bij de 650 miljoen euro, daar waar dit in 2017 om en bij de 785 miljoen bedraagt. Er is dus een stijgende lijn merkbaar in de totale investeringen gemaakt door ondernemingen in het BHG, deel uitmakende van deze sector.

Daarnaast valt op dat de ondernemingen die tezamen het segment computerprogrammering, consultancy & aanverwanten uitmaken, over de geobserveerde periode een groeiende mate van investering vertonen. De CAGR over de periode in termen van investeringen is namelijk 6,5%.

Daarnaast is tevens merkbaar dat het aandeel van het telecom segment opnieuw erg groot is. Het aandeel in het totaal volume aan investeringen in de BHG, gemaakt binnen deze sector door de telecomspelers is om en bij de 90%. Hier is evenwel een dalende lijn merkbaar, wat een indicatie is van een geleidelijke afname qua investeringen. Dit laatste is evenwel verklaarbaar, daar, met de mogelijke aankomende introductie van 5G en de maturiteitsgraad van het 3G en 4G netwerk zowel de bijkomende investeringen om het 4G netwerk uit te breiden en de 3G en 4G netwerken te onderhouden stelselmatig afnemen. Daarenboven, lijkt het niet ondenkbaar dat bijkomende investeringen door deze spelers momenteel worden uitgesteld tot na de finale beslissing aangaande de 5G licenties en het al dan niet introduceren van een 4^e telecomspeler op de Belgische markt.



Figuur 22 - Evolutie investeringen in ICT-sector BHG

4.2.3 Beleid ter ondersteuning van de digitale economie

4.2.3.1 Federaal beleid

Met betrekking tot de digitale economie heeft de federale regering een transparant fiscaal en sociaal kader voor de deeleconomie ingevoerd. Sinds begin 2017 genieten inkomsten die in het kader van de occasionele dienstverlening tussen particulieren via een elektronisch platform werden gegenereerd, een preferentieel belastingtarief van 10% als die inkomsten niet meer dan 5.100 euro per jaar bedragen. Er werd een “taxshelter”-systeem voor startups ingevoerd. Particulieren die investeren in een startup (*) genieten, naargelang de investering betrekking heeft op een mini- of een kleine onderneming, een belastingvoordeel van 45% of 30%. De investering is beperkt tot 100.000 euro op jaarbasis (en bedraagt niet meer dan maximum 250.000 euro). Op het vlak van “eHealth” heeft de federale regering een programma van 3 miljoen euro op touw gezet ter bevordering van de ontwikkeling van mobiele e-Health applicaties. De minister van Digitale Agenda heeft (aan de hand van infosessies en workshops) onder de naam “Tournée digitale” een campagne uitgewerkt om kmo’s bewust te maken van de opportuniteiten die de digitale technologie en e-commerce te bieden heeft. De belastingaftrek voor innovatie werd uitgebreid naar de inkomsten afkomstig van software die beschermd wordt door het auteursrecht. Die maatregel beoogt om ondernemingen aan te moedigen om innoverende software te ontwikkelen in België³⁰.

4.2.3.2 Digital Belgium

Het plan “Digital Belgium” heeft tot doel België voorop te laten lopen bij de uitrol van ultrasnelle internetnetwerken. Tegen 2020 moet minstens de helft van de internetverbindingen een debiet van 1 Gbps hebben. In overleg met de betrokken gemeenten, de gewestelijke overheden en de operatoren wordt gewerkt aan een actieplan “witte zones”.

Het doel is om huishoudens die momenteel niet gedekt zijn, toegang te verstrekken tot een internetverbinding van minstens 30 Mbps.

Tot de beoogde acties behoren:

- Maatregelen om de kosten van de uitrol van breedbandinternet te verlagen in het kader van de uitvoering van de Richtlijn 2014/61/EU;
- Maatregelen om investeringen in zones waar nog geen infrastructuur aanwezig is
- Inzetten op een combinatie van verschillende toegangstechnologieën, waaronder satelliet;
- Strengere eisen stellen voor mobiele dekking.

³⁰ Bron: Barometer van de informatiemaatschappij 2018, FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, <https://economie.fgov.be/nl/publicaties/barometer-van-de-4>, geraadpleegd op 27/2/2019.

Wat het stimuleren van investeringen betreft, heeft het BIPT een versoepeling van de regulering van de breedbandmarkten voorgesteld om operatoren die in de “witte zones” nog geen 30 Mbps-netwerk hebben, in staat te stellen hun netwerk uit te rollen of te moderniseren met de garantie dat ze het niet moeten openstellen voor hun concurrenten.

Met betrekking tot de competitieve dynamiek op de telecommunicatiemarkt, is sinds 1 juli 2017 het “Easy Switch”-systeem in werking getreden. Dat systeem vereenvoudigt en versnelt het proces om van operator te veranderen. Naar analogie van wat men op de mobiele telefonie markt heeft gedaan, is de nieuwe operator verantwoordelijk voor de technische en administratieve aspecten van de verandering, zonder enig risico op onderbreking van de dienstverlening en dubbele facturering. Bovendien beperkt de reglementering het tijdvenster waarin de technicus van de operator moet langskomen om de technische voorzieningen te installeren tot maximaal een halve dag. Indien de technicus binnen de gestelde termijn niet komt, geeft dat recht op een compensatie.

4.2.3.3 *Digitale human resources*

In een wereld waarin technologie een almaar grotere rol speelt, is het van cruciaal belang om digitale vaardigheden te beheersen. In april 2017 werd er een federaal fonds opgericht. Dat fonds maakt de komende drie jaar 18 miljoen euro vrij. Het “Digital Belgium Skills Fund” financiert projecten die gericht zijn op de ontwikkeling van digitale vaardigheden bij maatschappelijk kwetsbare kinderen, jongeren en jongvolwassenen. Het vertrouwen vormt een bepalend element voor de ontwikkeling van de digitale economie. Het plan voorziet om te werken aan dat vertrouwen aan de hand van drie soorten acties. Er is een noodplan voor de telecomsector in de maak om in geval van crisis de continuïteit van de openbare elektronische communicatiediensten en -netwerken te garanderen. Dat plan zal in de loop van 2018 klaar zijn. In mei 2017 nam de federale regering zes belangrijke maatregelen om de cyber-security in België te versterken.

1. In de toekomst worden de diensten van het Computer Emergency Respons Team (CERT).be uitgerust met een callcenter dat dag en nacht open is. Elk bedrijf kan er in geval van een cyberaanval een beroep op doen.
2. Een systeem waarschuwt en informeert de zogenaamde vitale sectoren (energie, financiën, vervoer) over bedreigingen gericht op de kritieke infrastructuren.
3. Het Centrum voor Cybersecurity België (CCB) voert ook informatie- en bewustmakingscampagnes voor de kmo's, die het doelwit zijn van 45% van de cyberaanvallen.
4. De federale diensten zullen ook beschikken over een nieuw instrument om de cyberrisico's te analyseren, dat in een tweede fase zal worden uitgebreid tot de privésector. Dat instrument wordt ontwikkeld met de hulp van Luxemburg, dat het al heeft.
5. Binnen de federale overheid wordt een Information Security Operations Center opgericht, dat zich richt op de bescherming van de kritieke infrastructuren van de overheid (incidentdetectie en -beheer, coördinatie van de reactie).
6. Ten slotte zal België in 2018 de Europese richtlijn inzake netwerk- en informatiebeveiliging (NIB), die voorziet in een betere internationale samenwerking en een meldingsplicht voor incidenten, omzetten.

Burgers en bedrijven moeten tegen 2020 het contact met de overheid elektronisch via gebruiksvriendelijke applicaties kunnen afhandelen. Eén enkel gebruiksvriendelijk en kwalitatief hoogstaand portaal zal de burgers in staat stellen om gebruik te maken van alle federale overheidsdiensten. De federale autoriteiten erkennen nu de “itsme”-applicatie als een vertrouwde authenticatie-methode voor het gebruik van elektronische federale overheidsdiensten.

4.2.4 Belang van de netwerken voor de digitale economie en introductie van de nieuwe technologieën in Brussel

In het kader van adviesverlening aan de dienst Leefmilieu Brussel werden verschillende telecom stakeholders bevestigd aangaande de micro-economische impact van 5G in Brussel. Zodoende met als doel om kerngegevens te verzamelen aangaande de huidige en toekomstige impact van 5G op de TELCO-industrie in België en meer specifiek in Brussel. De informatie hieronder is afkomstig uit 5 gesprekken: 2 met vertegenwoordigers van de telecom operatoren actief in Brussel, 2 met vertegenwoordigers van toeleveranciers van de telecom infrastructuur actief in Brussel, 1 met een vertegenwoordiger van de federatie van hoogtechnologische bedrijven.

4.2.4.1 *Perspectief implementatie 5G in Brussel: Operatoren*

4.2.4.1.1 *Investerings*

- 1) Voorziet u, in uw bedrijfsmodel, ter rechtvaardiging van een verdere investering in 5G technologie, als operator, een toenemende directe en indirecte bijdrage aan de economische ontwikkeling van de Brusselse regio ten gevolge van deze investering?
 - Kan u toelichten waaruit zulke investering zou bestaan?

In het begin, zal de investering in 5G technologie nodig zijn om bijkomende capaciteit te voorzien. Het beschikbare spectrum zal onvoldoende blijken, bij een blijvende toename aan mobiel dataverkeer. Gegeven de exponentiële groei in de vraag naar mobiel dataverkeer, zal bijkomende capaciteit mogelijke congestie weten te voorkomen.

Daarnaast betekent het implementeren van de 5G-technologie ook de uitrol van een nieuwe architectuur, voorziet deze in nieuwe processen en kan deze bijgevolg bijdragen aan de ontwikkeling van nieuwe dienstverlening. Zowel op vlak van dataverwerking, datasturing en dataopslag zal 5G toelaten om veel meer op het niveau van de lokale gebruiker te ageren, met als gevolg, dat spectrum en resources kunnen geoptimaliseerd worden in het kader van specifieke noden en of wensen van gebruikers.

Het onderschrijven van de groei veroorzaakt momenteel geen groei in het aantal geplaatste antennes voor België, deels omwille van de nieuwe massive mimo technologie, waardoor bijkomende antennes niet nodig zijn, anderzijds omdat operatoren niet meteen de dichtheid van het netwerk wensen te laten toenemen.

Qua investeringen in de 5G technologie volstaat het volgens de operatoren om de bestaande sites te verbeteren en er de nieuwe technologie aan toe te voegen, daar waar nodig. Wat evenwel mogelijk is, is dat de bestaande sites worden herschikt om een betere dekking en betere prestaties te bekomen. Daarenboven is bijkomende investering in small cells tevens mogelijk, dit ter optimalisatie van het netwerk. Deze investeringen worden evenwel niet als ingrijpend beoordeeld door de operatoren.

Er bestaan momenteel verschillende cijfers aangaande micro economische impact van 5G voor België. Tot 2023 wordt voorzien dat de implementatie zal leiden tot bijkomende omzet tot 13 miljard euro met als gevolg de creatie van om en bij de 35 000 jobs.

- 2) In de periode 2015-2016 investeerden de toenmalige operatoren, actief op het Brusselse grondgebied, in totaal 109 miljoen euro in mobiele netwerken. Hoe verwacht u dat deze inspanning verder zal evolueren onder impuls van de implementatie van 5G?

De verwachting zal zijn dat de investeringsniveaus grosso modo dezelfde zullen blijven, het investeringsvolume zit momenteel rond de 10-12% van de omzet, maar verwacht wordt dat omwille van de implementatie van 5G de investeringen tijdelijk verder zullen toenemen tot een maximaal geraamd cijfer van 23%. Verder is duidelijk dat voor het bestaande 4G netwerk, de uitrol van het netwerk nu voltooid is en er enkel nog wordt geïnvesteerd in de optimalisatie van lokale capaciteit. De volgende investeringsgolf wordt investering in 5G, waarbij de prioriteiten zullen volgen uit de prioriteiten die de regulator aan de operatoren oplegt.

4.2.4.1.2 Gebruikers

- 3) Welke types gebruikers en ondernemingen verwacht u dat gebruik zullen gaan maken van 5G?

Momenteel begint de eerste belangstelling voor 5G te ontstaan binnen de industrie. De operatoren gaan dan ook uit van een grote meerwaarde voor de industriële spelers, ten gevolge van de implementatie van de nieuwe technologie. De functionaliteit van het huidige netwerk zit op 1 plaats en de radiosites zitten verspreid over het territorium, met 5G zal edge-computing verspreid in het territorium gefaciliteerd worden, zo kan de beveiliging en de data opslag lokaal worden gehouden en worden uitgevoerd. Dit laatste is essentieel voor bedrijven: men heeft rekencapaciteit, data opslag, en data-routing nodig, deze allen voorzien van voldoende beveiliging. Dit alles is mogelijk in een 5G architectuur dewelke gedecentraliseerd, gevirtualiseerd of gelokaliseerd kan worden.

De operatoren achten momenteel de kans klein dat de lokale industrie zich al voldoende bewust is van de mogelijkheden die de technologie voorziet en roepen daarom ook op om in overleg met de industrie en de overheid de mogelijkheden van de nieuwe technologie kenbaar te maken. Daarenboven achten de operatoren het weinig waarschijnlijk dat het gebruik van de technologie er zal komen omwille van een technologie push, maar eerder zal vertrekken vanuit een market pull.

Bijkomende zal ook de residentiële markt bijdragen aan het toenemende gebruik van mobiele data, dit is tevens merkbaar in bovenstaand overzicht aangaande de toename in mobiel dataverbruik voor de Belgische regio.

4.2.4.1.3 Use cases

- 4) Welke zijn voor u, als operator, de meest ontwikkelde en bijgevolg meest interessante use-cases waar 5G technologie zal aan bijdragen? Welke use-cases zal u als prioritair naar voren schuiven in aanloop naar de introductie van de technologie?

De operatoren gaan momenteel uit van het belang van de verminderde 'latency' ten gevolge van het gebruik van 5G, alsook zien zij merite in de optimalisatie van de dekkinggraad en de verbetering van de voorzieningen omtrent minimale dienstverlening. Wat evenwel opvalt is dat in tegenstelling tot de technologieleveranciers (zie verder) de operatoren niet direct inzetten op het naar voor schuiven van use cases. Zij stellen verder dat de use-cases veeleer het gevolg zullen zijn van toepassingen die door de industrie en door de residentiële gebruikers kunnen bedacht worden, dan wel door hen als dusdanig in de markt dienen gezet te worden.

4.2.4.1.4 Beleid

- 5) In welke mate scheidt het huidige beleidskader voldoende ruimte voor de uitrol van 5G?

Met de ordonnantie die er nu ligt kunnen de operatoren beginnen nadenken of het al dan niet haalbaar is om 5G uit te rollen in Brussel. Zelfs als de ordonnantie aangenomen wordt, dan is de kans dat ze wordt aangevallen ook nog groot. De operatoren stellen verder dat er nu een eerste stap in de juiste richting werd genomen, maar dat het logischer is om de EU-stralingsnormen over te nemen. In België alleen zijn er drie verschillende milieuregelgevingen, voor een land kleiner dan enkele Chinese steden. Dit laatste zorgt voor onzekerheid en ongelijkheid in zake investeringen en te volgen reglementering.

- 6) Heeft u als operator uw investeringen in het kader van 5G omwille van het beleidskader verminderd, vermeerderd of aangepast? Bent u van plan deze aan te passen in de toekomst of bij wijziging van het beleidskader?

Op dit moment zijn er nog geen investeringen, we moeten ook nog zien of de Brusselse stralingsnorm toelaat of 5G voldoende kan ontplooid worden. De operatoren halen momenteel reeds het maximale uit de huidige voorziening, maar de situatie is volgens de operatoren niet ideaal. Ook de technologie moet nog verder rijpen om zodoende meer investering toe te laten of te rechtvaardigen. Daarenboven kunnen testen momenteel niet worden uitgevoerd omwille van het regelgevend kader. Dit heeft tot gevolg dat er ook nog geen vraag ontstaat, daar de industrie nog geen kans heeft om met de nieuwe technologie aan de slag te gaan. Exemplarisch hiervoor is de huidige adviesverlening van o.a. Gartner, dewelke momenteel industriële actoren aanraadt om nog niet te investeren in 5G compatibele technologie.

4.2.4.1.5 Toekomst

We zitten momenteel nog in een aanvangsfase voor de technologie, om dus te stellen wat de micro-economische impact zal zijn voor Brussel is momenteel niet mogelijk. De operatoren hebben nog enkele jaren nodig om in te schatten wat de impact zal zijn voor Brussel, dit tevens om de technologie verder te laten rijpen. Belangrijk is evenwel dat het wetgevend kader voldoende faciliterend is om de nodig investeringen te rechtvaardigen. Hierbij is het tevens belangrijk dat men een kader schept waarin de operatoren en andere actoren samen kunnen testen en bijgevolg elkaar kunnen versterken. Dit laatste zal moeten gebeuren, o.a. onder impuls van de investeringen die in onze buurlanden zullen plaatsvinden, waardoor ook lokaal moet worden nagedacht over de competitieve positie van onze regio en de erin gevestigde ondernemingen. In ditzelfde kader dient tevens te worden overwogen of gegeven de focus op industriële activiteiten, niet moet worden nagegaan welke de toegevoegde waarde van de 5G implementatie voor de Brusselse regio in deze is, gegeven de samenstelling of korf aan economische activiteiten die binnen de regio reeds ontwikkeld worden en of in toekomst kunnen ontwikkeld worden.

4.2.4.2 *Perspectief implementatie 5G in Brussel: Toeleveranciers*

4.2.4.2.1 Investeringen

De toeleveranciers stellen dat zij de eigen investeringen nog wat zullen uitstellen en investeringen zullen koppelen aan de vraag die bij mogelijke klanten zal ontstaan. Dit mede omwille van het feit dat binnen Europa, de bedragen voor de aankoop van de 5G-licenties bijzonder sterk schommelen en er dus onzekerheid is aangaande hoe deze licenties aan de operatoren zullen worden aangeboden. De toeleveranciers stellen bijvoorbeeld dat men in Italië vraagt grote sommen voor de aanschaf van een licentie, dit terwijl men in Zwitserland de kost om een licentie aan te schaffen lager legt, dit evenwel tevens met de intentie om vanuit overheidswegen voorwaarden aan de verkoop te kunnen koppelen. Deze manier van werken, waarbij aan de verkoop van de licentie voorwaarden gekoppeld zijn en er tevens wordt ingezet op een terugverdienmodel voor de overheid, wordt door de toeleveranciers als interessant bevonden, dit zowel voor de overheid als voor de eigen klanten (klanten van de toeleveranciers).

4.2.4.2.2 Gebruikers

Volgens de toeleveranciers zal de markt voor 5G bestaan uit drie segmenten. Er is de consumenten of residentiële-markt, dit is de markt waar de operatoren momenteel op focussen, dit is tevens het segment waarop de operatoren zich hebben georganiseerd in het verleden. Het probleem hier is dat deze gebruikers niet zullen inzetten op de diensten die 5G kan bieden en waarmee het waarde weet toe te voegen. Bijgevolg zal dit residentiële deel van de markt naar alle waarschijnlijkheid niet bereid zijn om meer te betalen om de 5G-technologie te kunnen gebruiken.

De tweede markt daarentegen, De industriële markt, bestaande uit alle verticals, alle segmenten, deze zal waarde kunnen ontginnen uit de 5G mobiele technologie, daar 5G een nieuwe toolbox met zich meebrengt die tegemoetkomt aan enkele van de beslommingen waar de industrie reeds nu mee geconfronteerd wordt. Denk hierbij aan extra beveiligde communicatie, bijzondere Service Level Agreements (SLAs) of locatie gebonden diensten.

Als derde markt identificeren de toeleveranciers tevens de publieke sector of de overheid zelf. Specifiek identificeren zij dienstverlening van maatschappelijk belang: gezondheidszorg, administratie, open data, smart cities, dewelke allen gediend kunnen zijn door de bijkomende technologische mogelijkheden vervat in de 5G toolbox.

Specifiek voor de implementatie van 5G in Brussel, gegeven ook de samenstelling van de ICT-sector, zal het verder inzetten op digitalisering en automatisatie van belang zijn in de verdeling van de toegevoegde waarde die onttrokken wordt aan de volledige exploitatie van 5G voor industriële toepassingen. Concreet zal de vraag eruit bestaan of het aanleveren van waarde-toevoegende diensten via het 5G netwerk de omzet van de bedrijven actief in de ICT-sector zal doen toenemen en in welke mate het 5G-enabled deel van deze toename gecapteerd zal worden door de telecom operatoren, dan wel door de computer programmering, consultancy en aanverwante bedrijven. Het is namelijk denkbaar dat het deze laatste bedrijven zullen zijn die de integratie van de technologie bij industriële klanten zullen gaan begeleiden en zodoende met een deel van de gerealiseerde toegevoegde waarde aan de haal gaan.

4.2.4.2.3 Use cases

Naar specifieke use-cases toe, voorzien de toeleveranciers in veel meer mogelijke toepassingen, dan wat het geval was voor de operatoren. Dit is evenwel tevens deels te verklaren door het feit dat in deze gevallen, de toeleveranciers end-to-end oplossingen aanbieden op de markt. Dit wil zeggen dat een (snellere) implementatie van 5G zowel goed is voor de verkoop van 5G broadcasting infrastructuur, alsook voor de verkoop van end-user applicaties die slechts toegevoegde waarde leveren aan de eindgebruiker, mits een uitrol van 5G. Enkele van de relevante (voor de BHG) use cases die in deze naar voren werden gebracht, worden hieronder toegelicht.

- 5G voor de internationale congressen en of voor internationale events met een high-risk karakter: Dit zijn events waar zowel beveiliging van de data alsook de beveiliging van mensen en omgevingen bijzonder belangrijk zijn. Hierbij wordt tevens geopperd dat 5G ook belangrijk zal zijn voor het geassocieerde transport van en naar dit type van events.
- Verkeerplatformen: deze platformen moeten publieke en private gegevens integreren, en de bestaande applicaties uitgerold van overheidswegen weten te optimaliseren en verbeteren. Dit vergt heel veel data-opslag, maar ook een betrouwbaar netwerk waarlangs de data kan worden verstuurd.
- Drones: Drones hebben een mobiel netwerk nodig om vrij te kunnen vliegen, om onbemand te kunnen vliegen is ook de latency van belang, daar snel moet kunnen worden ingegrepen in geval van nood of technische storing.
- 5G network slicing: Voor publiek transport kan een virtueel netwerk worden voorzien dit zowel ter bevordering van de veiligheid van zowel transport, als verkeer, alsook om het comfort van de gebruikers te verhogen.

4.2.4.2.4 Beleid

De toeleveranciers zijn op de hoogte van de ambities op het Belgische Federale niveau, maar nemen akte van het uitstellen van de veiling van de licenties. Dit heeft evenwel tot gevolg dat de toeleveranciers de eigen investeringen nog wat uitstellen en de vraag van mogelijke klanten afwachten. Daarenboven ijveren zij ook voor een geschikte aanpak in het veilen van de licenties.

4.2.4.2.5 Toekomst

De toeleveranciers voorzien voor de Belgische bedrijven dat competitieve voordelen onder impuls van sneller werken en efficiëntere werkwijzen belangrijk zijn en zullen blijven. De 5G-technologie speelt in deze een bijzondere rol. Tot op zekere hoogte kan de huidige voorziening, het 4G-netwerk bijkomende waarde toevoegende dienstverlening mogelijk maken, maar dit gaat op termijn structurele tekorten geven. Daarenboven zal het uitrollen van de nieuwe technologie veel tijd in beslag nemen. Als binnen twee jaar gestart wordt met de uitrol, dan is de technologie pas binnen 5 jaar paraat. Zodoende is het volgens de toeleveranciers belangrijk dat het vertrouwen (zowel binnen de overheid intern en tussen overheid en industrie) hersteld wordt en dat kan worden overgegaan tot het veilen van de licenties.

Naar de toekomst toe zien de toeleverancier een groot potentieel in het gebruik van de 5G mobiele technologie. Op basis van cijfers aangeleverd door Ericsson & Arthur D. Little, voorziet men in de periode 2020-2026 een geschatte totale meeromzet ten belope van 7,2 miljard euro, als gevolg van 5G-gedreven digitalisering en dienstverlening. In eerste instantie zal voor de operatoren een bijdrage aan de omzet van ongeveer 0,894 miljard euro gerealiseerd worden in de periode 2020-2026, ten gevolge van het voorzien van de connectiviteit en het installeren van de netwerkinfrastructuur. Daar bovenop komt een 3,5 miljard euro uit het voorzien van dienstverlening via het 5G-netwerk, waarvan volgens deze bron de operatoren ongeveer 50% kunnen capteren. Tot slot zullen er omwille van de nieuwe opportuniteiten die de 5G technologie met zich meebrengt tevens nieuwe diensten en producten ontwikkeld dienen te worden. Deze bijkomende producten vertegenwoordigd volgens dezelfde bron een potentiële meeromzet van 2,68 miljard euro voor de sector. De operatoren zouden in deze ongeveer 33% van deze meerwaarde kunnen capteren. Zodoende voorziet de informatie aangeleverd via een van de toeleveranciers in een meeromzet van om en bij de 3,5 miljard euro voor de operatoren in de periode 2020-2026 ten gevolge van de exploitatie van 5G technologie.

4.2.4.3 *Perspectief implementatie 5G in Brussel: Zakelijke eindgebruiker*

Voor de bespreking van het perspectief van de zakelijke eindgebruiker wordt momenteel beroep gedaan op een advies uitgebracht door Gartner³¹.

Op basis van de roadmaps voor technologieontwikkeling en de implementatieschema's van de providers wordt aangenomen dat de 5G-technologie breed beschikbaar zal worden na 2020. Dit is later dan wat de IT-gebruikers initieel verwacht hadden. In vele gevallen verwacht men een volledige uitrol na 2023. Bedrijven verwachten dat de 5G-technologie bepaalde voordelen biedt, zoals ultra lage latency, maar providers promoten momenteel voornamelijk andere functies zoals multigigabit-datasnelheden en draadloze breedband verbindingen en of breedbandtoegang.

Gartner stelt evenwel dat de meeste huidige en nieuwe use-cases geen 5G nodig hebben gezien de mogelijkheden van de beschikbare 3G en 4G LTE-netwerktechnologieën. Het lijkt Gartner bovendien niet erg waarschijnlijk dat zakelijke gebruikers een premie zouden betalen voor het gebruik van de nieuwe technologie. Uit een beperkte bevraging uitgevoerd door Gartner blijkt dat slechts een klein percentage van de door hen bevroegde respondenten bereid is om een kleine premie te betalen voor de 5G-service en dat 26% simpelweg niet bereid is hiervoor te betalen.

Bijgevolg raadt Gartner operationele leiders die verantwoordelijk zijn voor het plannen en sourcen van mobiele diensten en apparaten aan om:

- Vóór 2020 geen gebruik te maken van algemeen beschikbare, op standaarden gebaseerde 5G-apparatuur of dienstverlening.
- Duidelijke use-cases te definiëren waarvoor het gebruik van de nieuwe technologie aantoonbaar tot meerwaarde leidt. Dit om zodoende te profiteren van 5G's unieke prestatiekenmerken.
- Het gebruik van verouderde services en technologieën, ter ondersteuning van alle andere use-cases, te ondersteunen tot minstens 2022.
- Na te gaan of potentiële prijsstijgingen voor toekomstige 5G-plannen door operatoren op til zijn en hierbij deze operatoren te informeren dat men bij voorkeur geen premie betaalt voor 5G-gegevensservice en of dat bij uitrol van de nieuwe technologie ondersteuning voor oudere applicaties gegarandeerd dient te blijven .

4.2.4.4 *Perspectief implementatie 5G in Brussel: Residentiële eindgebruiker*

Tijdens het opstellen van dit advies werd geen contact opgenomen met residentiële gebruikers. Het strekt evenwel tot de aanbeveling om desgevallend vanuit de Brusselse overheid een stakeholderbevraging te organiseren aangaande het thema, om zodoende ook de lokale eindgebruiker een stem te geven, alsook

³¹ Four Key Ways Enterprises Should Plan for 5G, 2017, Gartner, <https://www.gartner.com/doc/3787788/key-ways-enterprises-plan-g>, geraadpleegd op 17/02/2018.

validatie te bekomen van de hypothesen die omtrent gebruik in deze gehanteerd worden door zowel de operatoren, alsook de toeleveranciers.

5 Suggesties

- Het voorstel van het comité is om zoveel mogelijk internationale richtlijnen te volgen in verband met de berekeningswijzen van de norm voor 5G.

6 Algemene conclusie

Naar micro-economische impact toe kan geconcludeerd worden dat, een toename in mobiel dataverkeer op termijn tot structurele tekortkomingen zal leiden en dat bijgevolg bijkomende inspanningen in dit kader onontbeerlijk zijn. Deze inspanning lijken, op basis van de voorhanden zijnde prognoses, ook te zullen leiden tot een toename inzake investeringen en omzet, althans voor de voornaamste groep bedrijven die deel uitmaken van de ICT sector in Brussel. Effectief gerealiseerde meerwaarde zal evenwel enkel mogelijk worden wanneer duidelijkheid aangaande de 5G licenties bijkomende inspanningen rechtvaardigen en er tevens een beleidsmatig kader is waarin zulke investeringen tot meerwaarde kunnen leiden. Dusver lijken noch de gesproken operatoren, noch de toeleveranciers geneigd om nu reeds bijkomende inspanningen te leveren. Bijkomende kan worden nagegaan of er voor de korf aan economische activiteit voltrokken binnen het Brusselse grondgebied, naast de ICT sector, ook andere sectoren aanzienlijke winsten en of omzet kunnen realiseren ten gevolge van de implementatie van deze technologie. Dit laatste is momenteel onduidelijk en veroorzaakt een situatie waarin overleg tussen overheid, industrie en vertegenwoordigers van lokale belangenvertegenwoordigers wenselijk is, dit om zowel de potentiële toepassingen voor deze technologie, alsook bestaande noden aangaande deze technologie beter in kaart te brengen binnen de regio, alsook om inspanning in deze tevens te aligneren met de strategische beleidsprioriteiten voor de regio.

In elk geval wordt verwacht dat mobiele netwerken moeten rekening houden met een sterke stijging in de vraag naar capaciteit in de komende jaren. 5G is nodig om die stijgende vraag naar meer capaciteit te beantwoorden. 5G brengt een aantal technische innovaties, die het mogelijk maken om aan de capaciteitsvraag te blijven voldoen. Essentieel moet hiervoor echter de hoeveelheid spectrum (nieuwe licenties), het aantal antennes (meer kleine cellen en Massive MIMO) en ook het uitgestuurde vermogen verhoogd kunnen worden.

Om optimaal meer spectrum en meer antennes te kunnen benutten, biedt 5G een aantal nieuwe technologieën aan:

- mmWave technologie maakt het mogelijk om de grote hoeveelheid spectrum op hoge frequenties te benutten;
- Massive MIMO maakt het mogelijk om veel antennes te plaatsen op eenzelfde locatie;

Beide technologieën vereisen echter een herziening van de berekeningswijze van de straling in de wetgeving, rekening houdend met het spatiaal effect van zowel Massive MIMO als mmWave communicatie. Het voorstel van het comité is om zoveel mogelijk internationale richtlijnen te volgen.

7 Bijlage: Betaalde vergoeding per lid in 2018

Naam	Voornaam	Aanwezigheden (tel geen videoconferenties mee)	Totaal (€)
Aerts	Geoffrey	1	100
BEAUVOIS	Véronique	3	450
Erzeel	David	2	200
Hecq	Walter	3	300
Lagroye	Isabelle	0	0
Le Dréans	Yves	1	100
Pollin	Sofie	2	200
Rolain	Yves	2	200
Selmaoui	Brahim	0	0

Verslag: validatie van de Mithra-REM-software

8 Samenvatting

Leefmilieu Brussel heeft een meetcampagne gehouden onder haar medewerkers en na een oproep van kandidaten. Door de meetresultaten te vergelijken met de simulaties die door de Mithra-REM-software zijn uitgevoerd, verkrijgen we een goede correlatie tussen de meting en de simulatie, met een lichte overschatting van de resultaten door de simulatiesoftware. Aan de andere kant meten we een gemiddelde demping van 5 dB, wat vooral verklaard wordt door het materiaal van het raamwerk waar de meting is uitgevoerd. Deze tendensen verdienen verdere metingen om bevestigd of ontkracht te worden.

9 Inleiding

10 Materialen en methoden

10.1 Metingen

10.1.1 Oproepen van kandidaten

Er werden binnen Leefmilieu Brussel twee keer kandidaten opgeroepen, de eerste keer binnen de afdeling "Vergunningen en Partnerschappen" en de tweede keer binnen de afdeling "Inspectie en bodemverontreiniging". Elke oproep bestond uit een google form. Op het tweetalige formulier werd het thema uiteengezet en werd aan het gemotiveerde personeel gevraagd om een stralingsmeting uit te voeren in hun woning en de informatie in te vullen aan de hand waarvan de inplanting van de antennes en het belang van de meting kon worden beoordeeld (Bijlage A1).

Er werd een selectie van de antwoorden gemaakt om de voorkeur te geven aan pertinente metingen die boven de detectievermogens van de spectrumanalysator uitkwamen.

10.1.2 Meetprotocol

Tussen 27/03/2017 en 16/03/2018 werden 69 metingen uitgevoerd op 29 verschillende sites. Negen van deze sites bevonden zich op de openbare weg en 20 in woningen.

De metingen zijn verspreid over het hele grondgebied van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (Afbeelding 23).



Afbeelding 23: Locatie van de verschillende meetsites in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

De metingen zijn uitgevoerd overeenkomstig de bepalingen van het BBHR van 8 oktober 2009 tot vaststelling van de methode en de omstandigheden voor de meting van het elektromagnetische veld dat door bepaalde antennes uitgezonden wordt, met behulp van een spectrumanalyser (Narda® SRM 3006) die is uitgerust met een sonde voor het meten van elektrische velden van 420 MHz tot 6 GHz. De spectrumanalyser werd tijdens elke meting op een houten driepoot geplaatst zodat de sonde zich op een afstand van 1,5 meter boven de grond bevond. De analyser geeft een gemiddelde van 40 seconden voor elke frequentieband die in de volgende tabel wordt weergegeven (Tabel 7)

Tabel 7: Frequentiebanden gemeten door de spectrumanalyser. De frequenties worden weergegeven in Hz.

	LTE 800		GSM 900_UMTS900		GSM 1800_LTE1800		UMTS 2100		LTE2600		3400_3600	
	Fmin	Fmax	Fmin	Fmax	Fmin	Fmax	Fmin	Fmax	Fmin	Fmax	Fmin	Fmax
Telenet	791	801	925.1	935.3	1855	1880	2125.3	2140.1	2655	2670		
Proximus	801	811	935.3	941.1	1805	1830	2110.3	2125.3	2620	2640		
			947.1	953.7								
Orange	811	821	941.3	946.9	1830.1	1854.9	2154.9	2169.7	2670	2690		
			953.9	959.9								
B-Lite											3.450	3499

Bij de meest eenvoudige metingen op de openbare weg werd het maximale punt van het elektrische veld bepaald met behulp van een breedbandmeettoestel (Narda®) en vond de meting op dit punt plaats, waarbij de sonde gericht was naar de zichtbare antenne.

In het geval van metingen in woningen werden systematisch drie soorten metingen uitgevoerd. Na met behulp van een breedbandmeettoestel het venster te hebben gelokaliseerd waar het veld maximaal was, wordt een meting uitgevoerd in het vlak van dit open venster of buiten (Ext). Er worden twee andere metingen uitgevoerd op het niveau van ditzelfde venster, 50 cm binnen in het gebouw, de eerste met een open venster (Fop) en de tweede met een gesloten venster (Fclo). De volgende afbeelding (Figuur 24) toont een voorbeeld van dergelijke installaties.



Figuur 24: Voorbeeld van installatie van de meter volgens de drie soorten systematische metingen. A: in het vlak van het venster, open; B: op 50 cm van het venster, open; C: op 50 cm van het venster, gesloten.

In het geval dat het veld hoger zou zijn op een andere plaats in de ruimte dan op het niveau van het venster, zou een vierde meting worden uitgevoerd.

Tabel 8: overzicht van metingen uitgevoerd tijdens een bezoek

Meting	Naam	
Openbare weg	Ext	Systematisch
Woning		
Vlak of buiten	Ext	Systematisch
50 cm binnen venster open	Fop	Systematisch
50 cm binnen venster gesloten	Fclo	Systematisch
Binnen maximum	In	Optioneel

In het geval van metingen in woningen werden verschillende kenmerken van het gebouw genoteerd op het moment van de meting of *a posteriori* om de analyse van de resultaten te verrijken. Deze kenmerken worden gepresenteerd in Tabel 9.

Tabel 9 : Kenmerken van de gebouwen waar de metingen hebben plaatsgevonden. Alle kenmerken werden ter plaatse geregistreerd, met uitzondering van het bouwjaar van het gebouw. De leeftijd van het gebouw is een schatting, gebaseerd op luchtfoto's van Brussel die beschikbaar zijn op de site <http://bruciel.brussels>. Aangezien er alleen foto's beschikbaar zijn voor de jaren 1930, 1944, 1950, 1970 en 1996, wordt het bouwjaar beschouwd als het jaar vanaf wanneer het gebouw op de foto's verschijnt.

Kenmerken	Beschrijving	Waarden
Verdieping	Verdieping waarop de meting plaatsvond	Van 0 (begane grond) tot 4
Type	Type wand	Gevel of onder een hellend dak
Beglazing	Aantal beglazingslagen van het venster waar de metingen zijn verricht	Enkel of dubbel
Ramen	Materiaal van de raamkozijnen waar de metingen plaatsvonden	Hout, aluminium of pvc

Gebouw	Bouwjaar van het gebouw	1930, 1940, 1950, 1970, 2000
--------	-------------------------	------------------------------

10.2 Simulaties

De simulaties werden uitgevoerd met behulp van de ray tracing-software Mithra-REM (Geomod-CSTB, versie 1.6.10). De antennegegevens werden in eerste instantie gedownload van het onlinekadaster teneinde overeen te stemmen met de toegelaten situatie op de dag van de meting. We hebben een afstand van 1 meter tussen de ontvangers gekozen voor de horizontale en gevelsimulaties. Wanneer de resultaten van simulaties verkregen moesten worden om de metingen uitgevoerd in de woning te vergelijken, werd de in de software gemodelleerde woning gewijzigd om het aantal verdiepingen te verdubbelen en meer ontvangers te hebben op de verticale as. Alle andere parameters zijn standaard gebleven.

Tabel10: Geselecteerde overeenstemming tussen simulaties en meetlocatie.

Meetlocatie	Gesimuleerde waarde
Vlak + buiten	Out
50cm binnen venster open (Fop)	Out
50cm binnen venster gesloten (Fclo)	In

10.2.1 Modelling van het gebouw

In twee gevallen week de gemodelleerde omgeving af van de realiteit van het veld waarbij het resultaat beïnvloed werd. In deze gevallen werd het CIBG verzocht de modellen van de probleemgebouwen aan te passen alvorens de simulaties uit te voeren.

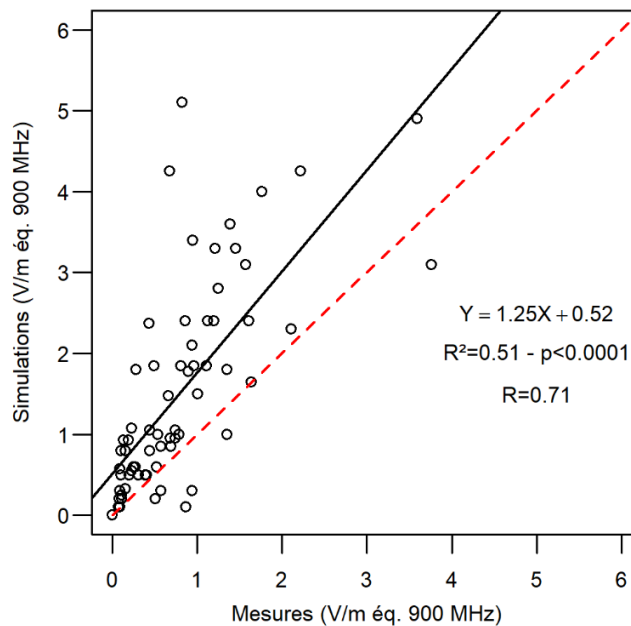
10.3 Statistische analyses

De statistische analyses (correlaties) werden uitgevoerd met de software R (R versie 3.3.3 (2017-03-06)). Pearson-correlatie, drempel $\alpha=5\%$.

11 Resultaten

11.1 Ruwe metingen

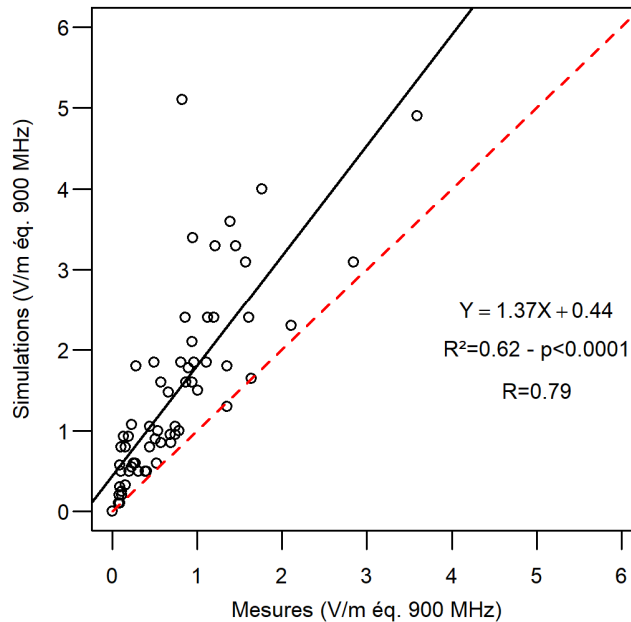
Uit de vergelijking tussen de gemeten en de gesimuleerde waarden blijkt een zeer goede positieve correlatie die statistisch significant is (Afbeelding 25 - $R^2=0.51$, $F_{1,67}=70.99$, $P<0.0001$).



Afbeelding 25 : Correlatie tussen de metingen en de gesimuleerde waarden op hetzelfde geografisch punt. De rode stippellijn vertegenwoordigt $Y=X$. $N=69$

De op twee sites uitgevoerde metingen wijken sterk af van de algemene tendens. Voor de eerste site waren de gesimuleerde waarden veel lager dan de gemeten waarden. Na onderzoek bleek dat een antennelocatie niet in aanmerking was genomen binnen het onderzoeksgebied van 200 m rond het meetpunt. Er is een nieuwe simulatie uitgevoerd met een breder onderzoeksgebied dat de betreffende locatie omvat, waardoor de simulatiewaarden zijn verhoogd. Wat de tweede site met afwijkende metingen betreft, hebben de onderzoeken geen redenen voor de verschillen aan het licht gebracht. Deze onderzoeken betreffen de omvang van het onderzoeksgebied en de positie en het azimut van de tijdens het bezoek aangetroffen antennes. Op 06/02/2019 werden op deze site twee nieuwe metingen verricht, buiten en 50 cm afstand van elkaar. Het gemiddelde van deze twee metingen is in de analyse opgenomen om de relatie te herberekenen. De gegevens van de antennes zijn tussen de eerste meting in 2017 en die in 2019 niet gewijzigd.

Rekening houdend met deze twee correcties wordt de relatie verbeterd (Afbeelding 26 – $R^2=0.62$ - $F_{1,63}=106.2$, $P<0.0001$).



Afbeelding 26: Correlatie tussen de metingen en de gesimuleerde waarden op hetzelfde geografisch punt na correctie en uitsluiting van atypische punten. De rode stippellijn vertegenwoordigt $Y=X$. N=65

11.2 Dempingen

Vergelijking van de niveaus van de elektrische velden gemeten op dezelfde locaties met open of gesloten venster geeft een schatting van de gemiddelde demping van de wanden die op de meetlocaties worden aangetroffen.

De demping van de wanden is in dB gemeten op 16 verschillende meetlocaties. Het gemiddelde van deze dempingen is $5,31 \text{ dB} \pm 4,81 \text{ dB}$.

Dit geeft een demping van $5,49 \text{ dB} \pm 5,21 \text{ dB}$ onder 1 GHz en $7,55 \text{ dB} \pm 5,1 \text{ dB}$ boven 1 GHz. Deze eerste dempingsanalyse houdt geen rekening met de detectielimieten van de meter, die soms onderschatte dempingsresultaten opleveren. In de nabije toekomst zal een diepgaande analyse worden uitgevoerd.

Deze twee waarden moeten worden vergeleken met de waarden die in het Besluit van 30 oktober 2009 worden genoemd en die 4 dB onder 1 GHz en 6 dB boven 1 GHz bedragen.

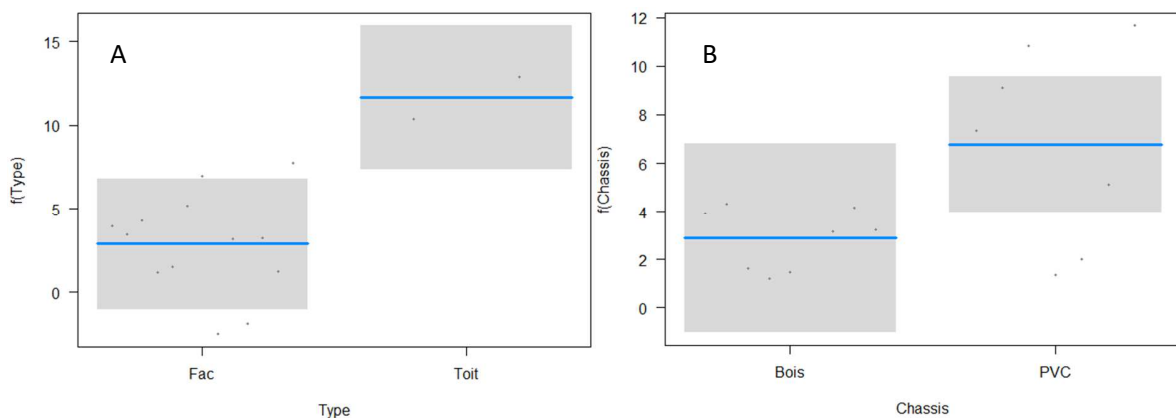
En met de waarde van 7 dB voor gebouwen met vensters die uit de studie COST 231 naar voren kwam.

We hebben een algemene lineaire modelanalyse (GLM) uitgevoerd van de demping in functie van de kenmerken van de gebouwen en hun interacties. Het uiteindelijke model wordt iteratief bepaald op basis van het Akaike-informatiecriterium (AIC), waarbij het meest karige model wordt gekozen.

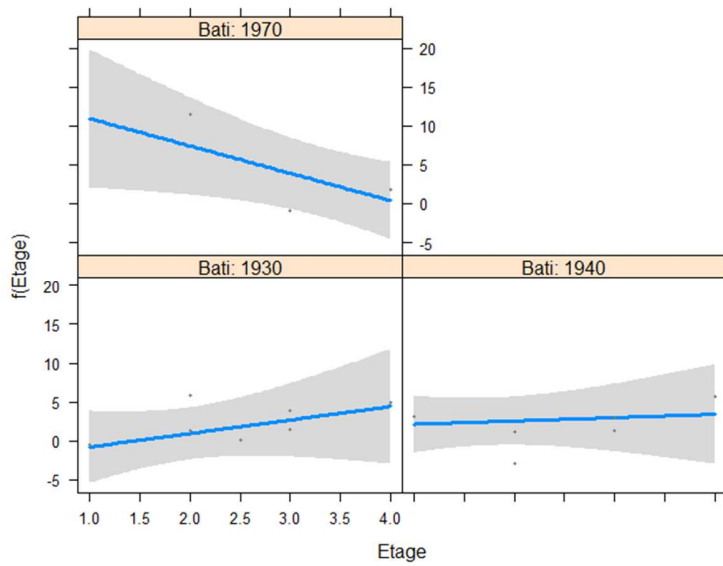
Het aldus gekozen model houdt rekening met de kenmerken van de Verdieping, het Type, het Raamwerk en het Gebouw, alsook met de interacties tussen Verdieping en Gebouw en tussen Type en Gebouw. Alleen de variabelen Raamwerk en de interacties Verdieping:Gebouw en Type:Gebouw zijn significant, met een algemene pseudo-R² van 0,75 (Tabel 11).

Tabel 11: Resultaten van de meest karige GLM.

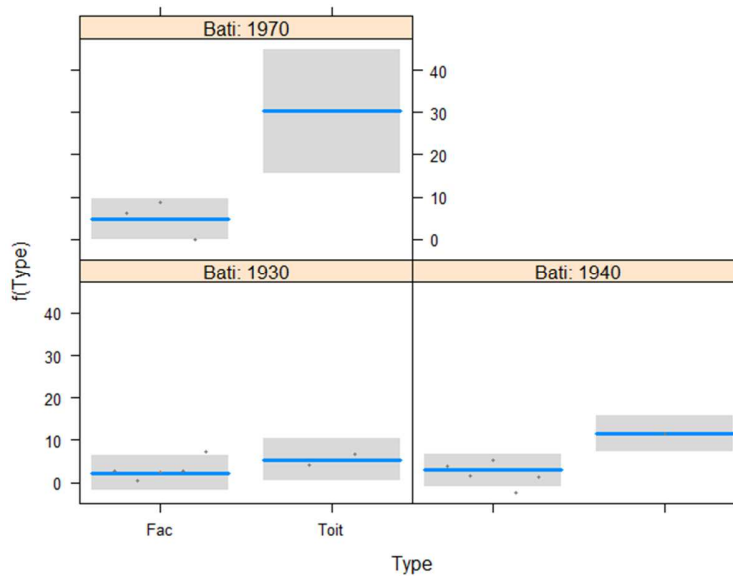
Variabele	F	st
Verdieping	0,97	0,35
Type	4.24	0,07
Raamwerk	10.09	0.01 *
Gebouw	0,66	0,44
Verdieping:Gebouw	5.17	0.05 *
Type:Gebouw	6.26	0.03 *



Afbeelding 27: Diagrammen van de voorwaardelijke spreiding tussen de demping door de wanden en de variabelen van de kenmerken van de gebouwen. A: afhankelijk van het type volume (gevel of schuin dak) - B: afhankelijk van het materiaal van het raamwerk. De arcering staat voor de betrouwbaarheidsintervallen van 95% en de stippen staan voor gedeeltelijke residuen.



Afbeelding 28: Diagrammen van de voorwaardelijke spreiding tussen de demping door de wanden en de interactie tussen Verdieping en bouwjaar van het gebouw. De arcering staat voor de betrouwbaarheidsintervallen van 95% en de stippen staan voor gedeeltelijke residuen.



Afbeelding 29: Diagrammen van de voorwaardelijke spreiding tussen de demping door de wanden en de interactie tussen het type volume en het bouwjaar van het gebouw. De arcering staat voor de betrouwbaarheidsintervallen van 95% en de stippen staan voor gedeeltelijke residuen.

12 Bespreking en besluit

12.1 Correlatie van de metingen

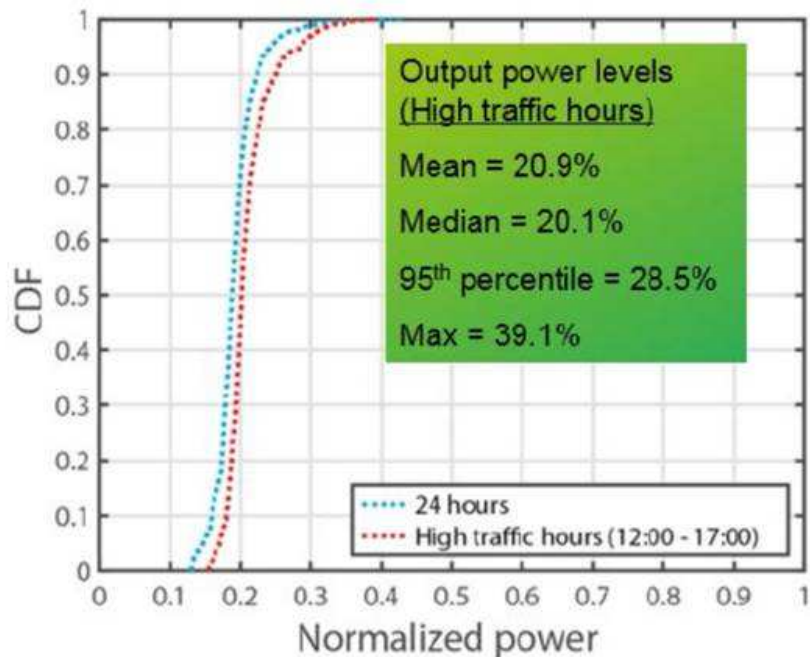
De belangrijkste bevinding van de in dit verslag gepresenteerde analyse is dat er een sterk, statistisch significant verband bestaat tussen de metingen en de simulaties. De Mithra-REM-simulatiesoftware heeft de neiging om het elektrisch veld te overschatten, zoals blijkt uit de richtingscoëfficiënt van de lineaire regressie die op Afbeelding 25 en Afbeelding 26 wordt getoond. Deze overschatting is in het voordeel van de burger.

Het is belangrijk om op te merken dat de verhouding tussen de simulatie en de metingen die we waarnemen praktisch dezelfde is als die in Frankrijk³². We komen uit op een verhouding van $1,41 \times 1,37 = 1,93$ (de verhouding van onze studie tussen simulatie en meting, vermenigvuldigd met de demping van 3dB van de technologieën) tussen simulaties bij maximaal vermogen en metingen. In Frankrijk is de verhouding tussen simulaties bij maximaal vermogen en metingen 1,6. Uit een Zweeds onderzoek bleek een soortgelijke verhouding van 2,09³³ (Afbeelding 30).

³² Lignes directrices nationales sur la présentation des résultats de simulation de l'exposition aux ondes émises par les installations radioélectriques.

Version 1.0, december 2015. ANFR

³³ IEC TR 669 ED2: Case studies supporting IEC 62232 – Determination of RF field strength and SAR in the vicinity of radiocommunications base stations for the purpose of evaluating human exposure. Draft technical report. Datum van verspreiding: 07-12-2018



Afbeelding 30: Vergelijking tussen maximaal vermogen en vermogensmetingen volgens IEC TR 669 ED2

Ondanks het belang van de relatie valt een grote variabiliteit vast te stellen in de verdeling van de meet- en simulatieresultaten, die slechts voor 62% wordt verklaard. De oorzaken van deze variabiliteit kunnen talrijk zijn en kunnen zowel de meet- als de simulatiefase betreffen. Op het niveau van de meting maakt de standaardisering van het meetprotocol het mogelijk om variaties in verband met de positionering van de sonde zoveel mogelijk te beperken. Bepaalde parameters betreffende de positie van de antennes, hun hoogte, hun azimut of ook de op het moment van de meting geïnjecteerde vermogens kunnen echter variëren tussen de toegestane en voor de simulaties in aanmerking genomen gegevens en de daadwerkelijk ter plaatse gemeten gegevens. Het was niet mogelijk om alle antennesites te bezoeken en er werd geen afwijking van de toegestane situatie vastgesteld voor de bezochte site. Voor wat de simulaties betreft, kunnen de resultaten ook onderhevig zijn aan variaties, met name als de modellering van het gebouw niet overeenstemt met de realiteit (blokmodellering versus veel genuanceerdere realiteit) of doordat antennes die zich buiten het onderzoeksgebied van 200 m bevinden, niet worden meegeteld. Zoals gepresenteerd in het materiaal en de methoden, hebben we ervoor gezorgd dat deze bronnen van variatie beperkt bleven en hebben we ze gecorrigeerd in de simulator wanneer we ze tegenkwamen.

12.2 Dempingsfactoren

De gemiddelde *in situ* gemeten demping op 19 locaties met zeer verschillende gebouweigenschappen is $4,18 \text{ dB} \pm 4,62 \text{ dB}$. Deze waarden zijn vergelijkbaar met de waarden die in andere studies zijn gemeten, met name COST 231³⁴, die een waarde van 7 dB aangeeft voor gebouwen met vensters.

Meer precies meten we een demping van $4,23 \text{ dB} \pm 5,03 \text{ dB}$ onder 1 GHz en $5,71 \text{ dB} \pm 5,50 \text{ dB}$ boven 1 GHz.

Deze twee waarden moeten worden vergeleken met de waarden die in het Besluit van 30 oktober 2009 worden genoemd en die 4 dB onder 1 GHz en 6 dB boven 1 GHz bedragen.

Uit de analyse van de kenmerken van het gebouw komen interessante trends in de variatie van de demping aan het licht. Op het eerste gezicht lijkt het verrassend dat het aantal beglazingslagen niet als verklarende variabele naar voren komt. Dit is te wijten aan het feit dat het overgrote deel van de vensters waar de metingen werden verricht, dubbel beglaasd waren.

De meest karige GLM laat zien dat de belangrijkste variabele met betrekking tot de demping het materiaal van het raamkozijn is.

Hoewel niet significant, zien we ook een sterke beïnvloedende neiging van het type volume, aangezien de demping sterker lijkt te zijn onder daken. Deze vaststelling moet worden ondersteund door meer metingen onder schuine daken, aangezien slechts twee metingen in aanmerking zijn genomen. Deze tendens is echter niet verrassend, aangezien de helling van de daken een toename van de reflectie van het elektrische veld met zich meebrengt.

Op basis van de COST 231-studie³⁵ vormt de elektromagnetische golf een hoek wanneer ze op het dak aankomt en is er dus sprake van extra demping door reflectie. In feite wordt een deel van deze golf gereflecteerd zoals het fenomeen dat ook op gevels bestaat.

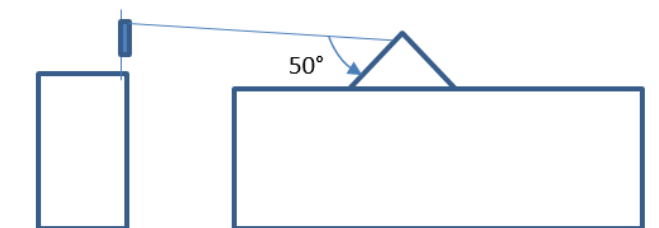
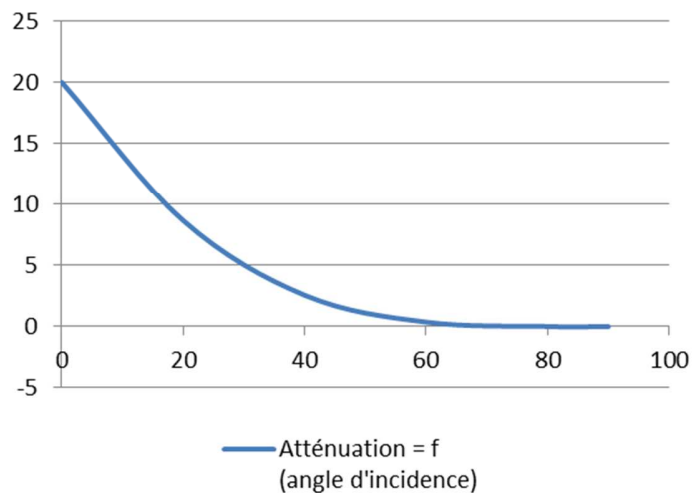
³⁴ COST Action 231: Digital mobile radio towards future generation systems. Final report. European Commission. Directorate-General Telecommunications, Information society, Information Market and Exploitation of Research (1999)

³⁵ COST Action 231: Digital mobile radio towards future generation systems. Final report. European Commission. Directorate-General Telecommunications, Information society, Information Market and Exploitation of Research (1999)

$$\text{Atténuation} = 20 \cdot (1 - \sin\theta)^2$$

Angle (°)	Atténuation (dB)
0	20.0
5	16.7
10	13.7
15	11.0
20	8.7
25	6.7
30	5.0
35	3.6
40	2.6
45	1.7
50	1.1
55	0.7

Atténuation = f (angle d'incidence)



Aan de andere kant lijkt het bestaan van interactie tussen de verschillende kenmerken logisch, aangezien deze variabelen niet onafhankelijk van elkaar zijn. Zo zijn de materialen van de kozijnen of het aantal beglazingslagen natuurlijk gerelateerd aan het bouwjaar van het gebouw, behalve bij renovaties.

12.3 Vooruitzichten

De neiging tot hogere demping onder hellende daken is zeer interessant voor de simulatie van elektrische velden. Deze toename kan op vele manieren worden verklaard, zoals dakhelling, isolatie, enz. Er zijn echter meer metingen nodig om deze trend te bevestigen of te ontkrachten.

Andere parameters kunnen worden bestudeerd om de dempingsanalyse te verfijnen. Ten eerste zou de invalshoek tussen de belangrijkste stralingsbron en de ontvanger relatief eenvoudig in de analyse kunnen worden opgenomen.

Toch zijn er verdere metingen nodig, vooral om onze kennis van de parameters die van invloed zijn op de demping door de wanden te verbeteren.