

Institut belge des services postaux et des télécommunications

**Etude du 12 septembre 2018  
concernant l'impact des normes de  
rayonnement bruxelloises sur le  
déploiement des réseaux mobiles**



## Table des matières

<b>1.</b>	<b>Contexte .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Normes de rayonnement .....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Normes de rayonnement en Belgique .....</b>	<b>5</b>
3.1.	Généralités .....	5
3.2.	Région de Bruxelles-Capitale .....	5
3.3.	Région flamande .....	6
3.4.	Région wallonne .....	6
<b>4.</b>	<b>Normes bruxelloises en 2018 .....</b>	<b>6</b>
4.1.	Comparaison avec les autres normes .....	6
4.2.	Impact sur le développement des télécommunications .....	8
<b>5.</b>	<b>Evolution du secteur des télécommunications mobiles .....</b>	<b>8</b>
5.1.	Evolution technologique.....	8
5.2.	Augmentation du trafic .....	9
5.3.	Massive MIMO.....	11
<b>6.</b>	<b>Evolution des télécommunications mobiles en Belgique .....</b>	<b>13</b>
6.1.	Situation actuelle .....	13
6.2.	Enchères multi-bandes .....	13
6.3.	Situation après 2020.....	14
6.4.	Arrêt de la 2G et/ou la 3G.....	14
<b>7.</b>	<b>Evolution des normes bruxelloises .....</b>	<b>15</b>
7.1.	Généralités .....	15
7.2.	Massive MIMO.....	15
7.3.	Limites optimales (puissance nominale, qualité maximale).....	16
7.4.	Limites conservatives (puissance actuelle par MHz, qualité actuelle) .....	18
<b>8.</b>	<b>Conclusions.....</b>	<b>19</b>
	<b>Annexe 1 : Comparaison des normes nationales .....</b>	<b>21</b>
	<b>Annexe 2 : Méthode de calcul utilisée pour obtenir les limites optimales .....</b>	<b>23</b>

## 1. Contexte

Dans un courrier reçu le 18 juillet 2018, le vice-Premier ministre et ministre des Télécom, M. Alexander De Croo, a demandé à l'IBPT de lui faire des recommandations sur les modifications à apporter aux normes de rayonnement bruxelloises afin de pouvoir répondre aux futurs besoins du secteur des télécommunications.

Dans son courrier, il a plus précisément été demandé ce qui suit :

*« En Belgique, les normes de rayonnement sont fixées au niveau régional. À Bruxelles surtout, la norme imposée (6 Volts par mètre cumulativement pour tous les opérateurs) rend impossible d'investir dans la 5G et de plus en plus de problèmes de congestion vont se poser au niveau de la 4G.*

*Il me semble approprié que l'IBPT réalise une étude et rédige une recommandation sur les normes de rayonnement nécessaires pour répondre aux besoins minimaux du secteur dans un avenir proche.*

*Et ce, de manière à pouvoir objectiver le débat. »* (traduction libre)

Dans un courrier reçu le 17 août 2018, la ministre de l'Environnement, Mme Céline Fremault, a demandé à l'IBPT de lui fournir un avis sur les normes de rayonnement bruxelloises existantes, ainsi que sur la possibilité d'abandonner certaines technologies actuellement utilisées.

Dans son courrier, il a plus précisément été demandé ce qui suit :

*« Pourriez-vous dès lors nous communiquer un avis sur l'état de saturation du réseau actuel bruxellois (2G, 3G, 4G) dans le cadre de la norme actuelle de 6V/m ? Concrètement, la norme actuelle de 6V/m permet-elle d'assurer un réseau de qualité et performant avec les technologies actuellement utilisées (2G, 3G, 4G) ?*

*Pourriez-vous également indiquer dans cet avis s'il serait possible d'intégrer la nouvelle technologie 5G dans le cadre de la norme actuelle de 6V/m tout en tenant compte des réseaux et technologies actuels ?*

*Parallèlement à ces questions, pourriez-vous indiquer s'il est envisageable, à court ou à moyen terme, d'abandonner certaines technologies actuellement utilisées pour laisser la place à la technologie 5G ? Si oui, l'abandon d'une technologie pourrait-il être effectif suffisamment rapidement pour libérer de la place pour accueillir la 5G tout en conservant des réseaux performants pour tous les types d'utilisateurs ? »*

La présente étude d'impact apporte une réponse aux demandes susmentionnées.

## 2. Normes de rayonnement

Les normes de rayonnement ont pour but de protéger le public contre les effets qui peuvent survenir à la suite d'une exposition à des champs électromagnétiques.

Les limites de rayonnement sont en général spécifiées par une limite du champ électrique exprimée en V/m, ou par une limite de la puissance surfacique exprimée en W/m<sup>2</sup>.

Il existe une relation entre la puissance surfacique ( $P_s$ ) et le champ électrique (E) :

$$P_s = \frac{E^2}{376,73}$$

Lorsque qu'on double la puissance d'une antenne, la puissance surfacique produite par cette antenne est doublée, alors que le champ électrique produit est multiplié par  $\sqrt{2}$  (environ 1,4).

Les limites de rayonnement varient en général avec la fréquence utilisée. Par souci de simplicité, on spécifie souvent uniquement la limite de rayonnement correspondant à la fréquence 900 MHz.

Les normes d'exposition existent déjà depuis des décennies et visent à protéger les gens contre des rayonnements RF excessifs, et ce, dans différents environnements. Selon l'environnement, des normes différentes sont appliquées au niveau international. Des exemples typiques sont les normes militaires, les normes pour les travailleurs et les normes pour le grand public. Des normes plus strictes sont systématiquement appliquées dans chacun de ces domaines.

La norme ICNIRP<sup>1</sup> pour les travailleurs et le grand public est la plus connue au monde. Cette norme est basée sur l'observation scientifique selon laquelle les tissus peuvent chauffer lorsqu'ils sont exposés à une énergie RF (par exemple un four à micro-ondes). Les normes ICNIRP garantissent que ce réchauffement ne se produira pas.

L'UE a émis une recommandation avec des normes pour le grand public qui sont conformes à cette norme ICNIRP. Les différentes régions de Belgique ont décidé d'appliquer des normes supplémentaires, plus strictes.

Il existe un consensus au sein de la communauté scientifique sur le caractère éprouvé de ces normes pour offrir des garanties afin d'éviter les effets de réchauffement mentionnés ci-dessus. Depuis des années, de nombreuses études ont été menées sur les mécanismes physiques et médicaux à l'origine d'autres effets potentiels. L'IBPT n'est pas compétent et ne possède pas non plus les compétences nécessaires en matière d'environnement ou de santé publique. Il ne dispose en outre pas de preuve laissant penser que d'autres effets seraient possibles.

C'est la raison pour laquelle, dans ce document, nous étudions le niveau de rayonnement, en partant des caractéristiques techniques des réseaux de radiocommunications et dans le but de garantir leur fonctionnement optimal, et ce, indépendamment d'autres éléments potentiels. Ce document ne propose que des valeurs basées sur ce qui est possible sur le plan radiotechnique et nécessaire pour le déploiement de réseaux. Il convient de noter ici qu'il est techniquement possible de définir la puissance d'émission d'un mât dans certaines limites. Cela a un impact sur la couverture et la qualité du service fourni via le mât. Les deux extrêmes - puissance maximale avec une qualité maximale (voir la section 7.3) et la puissance actuelle par MHz avec la qualité actuelle (voir la section 7.4) - seront abordés plus loin dans ce document.

### 3. Normes de rayonnement en Belgique

#### 3.1. Généralités

La Cour constitutionnelle a estimé<sup>2</sup> que la compétence générale des Régions visant à régler la protection de l'environnement impliquait celle de prendre des mesures en vue de prévenir et de limiter les risques liés aux radiations non ionisantes, en ce compris la limitation de l'exposition de l'homme au risque de ces radiations qui se répandent dans l'environnement.

Les normes de rayonnement varient donc d'une Région à l'autre. Les trois Régions ont fixé des normes de rayonnement plus contraignantes que ce qui est préconisé dans les recommandations de l'ICNIRP<sup>3</sup> et de l'Union européenne<sup>4</sup>.

#### 3.2. Région de Bruxelles-Capitale

L'ordonnance du 1<sup>er</sup> mars 2007 *relative à la protection de l'environnement contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les radiations non ionisantes*, fixe une limite cumulative de

---

<sup>1</sup> International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, <https://www.icnirp.org/>

<sup>2</sup> Arrêt n° 2/2009 du 15 janvier 2009.

<sup>3</sup> Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants, « *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)* », *Health Physics* 74(4): 494-522 (1998).

<sup>4</sup> Recommandation 1999/519/CE du Conseil du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz).

0,096 W/m<sup>2</sup> (soit environ 6 V/m) pour une fréquence de 900 MHz, dans les zones accessibles au public. Cette limite varie selon la fréquence :

- 0,043 W/m<sup>2</sup> pour les fréquences situées entre 0,1 et 400 MHz ;
- $f/9375$  exprimés en W/m<sup>2</sup> entre 400 MHz et 2 GHz, où  $f$  représente la fréquence exprimée en MHz ;
- 0,22 W/m<sup>2</sup> pour les fréquences situées entre 2 GHz et 300 GHz.

En vertu de l'arrêté du gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 30 octobre 2009 *relatif à certaines antennes émettrices d'ondes électromagnétiques*, l'ensemble des antennes d'un opérateur ne peut pas dépasser 33 % de la limite cumulative.

L'arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 8 octobre 2009 *fixant la méthode et les conditions de mesure du champ électromagnétique émis par certaines antennes* ainsi que l'arrêté ministériel du 30 juin 2010 *relatif à la validation d'un outil de simulation de calcul du champ électrique émis par une antenne émettrice d'ondes électromagnétiques*, sont également d'application.

### 3.3. Région flamande

L'arrêté du Gouvernement flamand du 1<sup>er</sup> juin 1995 *fixant les dispositions générales et sectorielles en matière d'hygiène de l'environnement (VLAREM II)*, fixe une limite cumulative de 20,58 V/m pour une fréquence de 900 MHz, pour toutes les zones accessibles au public. Cette limite varie selon la fréquence :

- 13,7 V/m pour les fréquences situées entre 10 et 400 MHz ;
- $0,686 \sqrt{f}$  exprimés en V/m entre 400 MHz et 2 GHz, où  $f$  représente la fréquence exprimée en MHz ;
- 30,7 V/m pour les fréquences situées entre 2 GHz et 10 GHz.

En vertu de l'arrêté du Gouvernement flamand du 1<sup>er</sup> juin 1995, chaque antenne<sup>5</sup> d'un opérateur ne peut pas dépasser 3 V/m pour une fréquence de 900 MHz, ce qui correspond à 2,125 %<sup>6</sup> de la limite cumulative.

En pratique<sup>7</sup>, c'est donc toujours la limite par antenne qui est la plus restrictive.

### 3.4. Région wallonne

Le décret du 3 avril 2009 *relatif à la protection contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les rayonnements non ionisants générés par des antennes émettrices stationnaires*, fixe une limite de 3 V/m pour chaque antenne<sup>8</sup> d'un opérateur, indépendamment de la fréquence.

## 4. Normes bruxelloises en 2018

### 4.1. Comparaison avec les autres normes

Les normes de rayonnement bruxelloises sont près de 50 fois plus contraignantes que ce qui est préconisé dans les recommandations de l'ICNIRP et de l'Union européenne.

La figure 1 montre une comparaison des limites de rayonnement (pour une fréquence de 900 MHz) dans les différents pays de l'Union européenne.

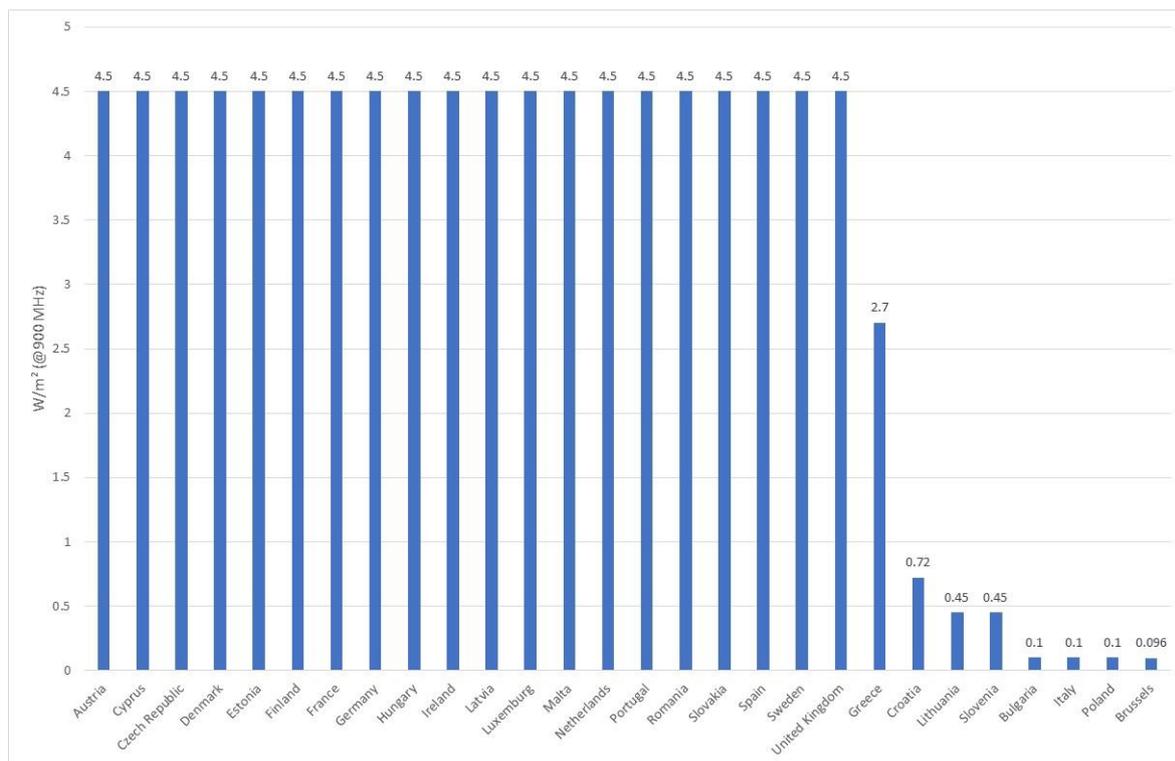
---

<sup>5</sup> Pour la Région flamande, il faut considérer qu'il y a une antenne par technologie déployée et par bande de fréquences.

<sup>6</sup>  $(3/20,58)^2$ .

<sup>7</sup> Jusqu'à 47 antennes.

<sup>8</sup> Pour la Région wallonne, il faut considérer qu'il y a une antenne par technologie déployée.



**Figure 1 – Comparaison des limites de rayonnement (@900 MHz) au sein de l’Union européenne<sup>9</sup>**

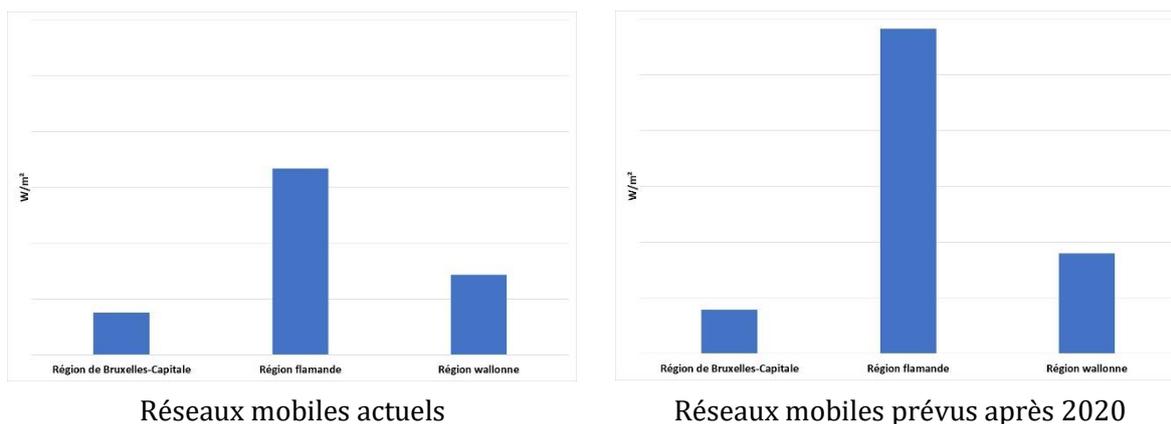
Il n’est pas évident de comparer les normes de la Région de Bruxelles-Capitale (limite cumulative) aux normes des deux autres Régions (limite par antenne). En effet, dans le cas de limites par antenne, la limite totale résultante dépend du nombre d’opérateurs, du nombre de technologies déployées et du nombre de bandes de fréquences utilisées. Avec l’arrivée de la 5G, de nouvelles bandes de fréquences, voire d’un quatrième opérateur, le nombre d’antennes augmentera et l’écart entre les normes de la Région de Bruxelles-Capitale et les normes des deux autres Régions ne fera qu’augmenter.

La figure 2 montre une comparaison des normes dans les trois Régions, respectivement pour les déploiements des réseaux mobiles actuels<sup>10</sup> (voir section 6.1), et pour les déploiements des réseaux mobiles prévus après 2020<sup>11</sup> (voir section 6.3), dans le cas de trois opérateurs. Les calculs sont détaillés à l’annexe 1. Dans le cas de quatre opérateurs, la différence serait encore plus importante.

<sup>9</sup> Sur la base des données fournies dans « *Comparison of international policies on electromagnetic fields* », National Institute for Public Health and the Environment, The Netherlands. Pour les pays qui n’ont pas de limite, on prend les limites des recommandations de l’ICNIRP et de l’Union européenne.

<sup>10</sup> 6 antennes (LTE800, GSM900, UMTS900, DCS1800, LTE1800 et UMTS2000) par opérateur pour la Région flamande, et 4 antennes par opérateur, pour la Région wallonne (GSM, DCS, UMTS et LTE).

<sup>11</sup> 10 antennes (NR700, LTE800, GSM900, UMTS900, NR1400, DCS1800, LTE1800, UMTS2000, LTE2600 et NR3600) par opérateur pour la Région flamande, et 5 antennes par opérateur, pour la Région wallonne (GSM, DCS, UMTS, LTE et NR).



**Figure 2 – Comparaison des normes dans les trois Régions**

Pour les déploiements des réseaux mobiles actuels, les normes de rayonnement bruxelloises sont plus de 4 fois plus contraignantes que les normes flamandes et près de 2 fois plus contraignantes que les normes wallonnes. Pour les déploiements des réseaux mobiles prévus après 2020, les normes de rayonnement bruxelloises seront plus de 7 fois plus contraignantes que les normes flamandes et plus de 2 fois plus contraignantes que les normes wallonnes.

#### 4.2. Impact sur le développement des télécommunications

La nécessité de concevoir des réseaux mobiles conformes à des normes de rayonnement plus restrictives que les recommandations internationales se traduit par une diminution de la flexibilité pour le déploiement du réseau, en particulier en termes de localisation optimale des sites. De plus, les opérateurs, afin de respecter les normes de rayonnement, doivent réduire la puissance rayonnée par leurs antennes. Cette réduction affecte la couverture, ce qui affecte la qualité du service fourni aux utilisateurs.

Les modifications des normes de rayonnement bruxelloises intervenues en 2014 ont permis de déployer la 4G dans des conditions plus ou moins acceptables. Les normes modifiées, qui restent 50 fois plus strictes que les recommandations internationales, ne constituent cependant pas une solution à long terme pour le déploiement de la 4.5G et de la 5G. La communication du Conseil de l'IBPT du 15 février 2013 *concernant les normes de rayonnement dans la région de Bruxelles-Capitale*, et en particulier sa section 3, restent d'actualité.

Les normes bruxelloises ont obligé les opérateurs à réduire la puissance de la plupart de leurs stations de base, affectant ainsi à la fois la couverture des réseaux (en particulier à l'intérieur) et leur capacité à couvrir simultanément les besoins d'un nombre important d'utilisateurs.

Vu que les champs produits par les réseaux en service atteignent déjà la limite bruxelloise (6 V/m), il est impossible de mettre en service des nouvelles bandes de fréquences. Les normes bruxelloises ont par ailleurs déjà bloqué la mise en service de fréquences attribuées aux opérateurs. Les réseaux actuels (2G, 3G, 4G) sont clairement saturés dans le cadre de la norme actuelle de 6V/m.

Les normes bruxelloises ont déjà un impact négatif sur l'offre des services existants, mais elles pourraient surtout entraver très sérieusement l'arrivée de nouveaux services, comme la 4.5G ou la 5G.

### 5. Evolution du secteur des télécommunications mobiles

#### 5.1. Evolution technologique

Une nouvelle génération de normes de télécommunications mobiles apparaît à chaque décennie.

L'utilisation des téléphones mobiles a débuté dans les années 80. Ces téléphones mobiles permettaient uniquement des appels vocaux analogiques. Plusieurs normes de télécommunications mobiles de première génération (1G) coexistaient et les bandes de fréquences utilisées n'étaient pas vraiment harmonisées.

La deuxième génération (2G) est arrivée dans les années 90. Les normes 2G ont été initialement développées pour la téléphonie mobile numérique, même si les évolutions, qui ont suivi, ont permis le transfert de données. En Europe, la norme 2G utilisée est la norme GSM et ses évolutions (GPRS et EDGE).

La troisième génération (3G) est arrivée dans les années 2000. Les normes 3G permettent essentiellement le transfert de données mobiles, en plus de la téléphonie mobile. En Europe, la norme 3G utilisée est la norme UMTS et ses évolutions (HSDPA, HSUPA et HSPA+).

Avec l'arrivée de la quatrième génération (4G), on est passé des données mobiles aux données mobiles à large bande. En Europe, la norme 4G utilisée est la norme LTE et son évolution LTE-Advanced (4G+).

Le déploiement de la 4.5G a déjà commencé. La norme 4.5G (LTE-Advanced Pro) est une évolution de la norme LTE, où on utilise plusieurs bandes de fréquences simultanément afin d'augmenter le débit offert.

La cinquième génération (5G) a pour vocation de prendre la relève de la quatrième génération dans les années 2020. La 5G est présentée comme la génération de rupture, qui ne se résume pas à une simple augmentation des débits, comme cela a été le cas pour les précédentes générations mobiles. En Europe, la norme 5G qui sera utilisée devrait être la norme NR<sup>12</sup>. Il ne s'agit plus seulement d'offrir au grand public des connexions pour la voix et les données performantes et à large bande, mais aussi de numériser et d'interconnecter des secteurs économiques et sociaux très divers. Dans le cadre de la 5G, ces secteurs sont appelés « *verticals* » (« verticaux »). Il s'agit ici entre autres de l'industrie automobile, des services de sécurité, du secteur de l'énergie, du secteur de la santé, des médias, etc. Chaque secteur sera caractérisé par des besoins spécifiques en matière de communications. La 5G sera une technologie développée dans cette optique dès la phase de conception et utilisable dans tous ces domaines différents.

Les caractéristiques techniques spécifiques de la 5G par rapport à la 4G se situent à trois niveaux :

1. des connexions mobiles ultra-rapides avec un débit maximal (allant jusqu'à 20 Gbit/s comme capacité de pointe et 100 Mbit/s pour chaque utilisateur) ;
2. une latence fortement améliorée ou un temps de réaction plus rapide (1 ms) ;
3. le nombre d'objets connectés (jusqu'à 1 000 000 d'objets par kilomètre carré).

Cela entraînera une forte amélioration des communications mobiles, des réseaux extrêmement fiables pour l'internet des objets et les applications pour lesquelles une très faible latence est essentielle, comme pour les véhicules autonomes.

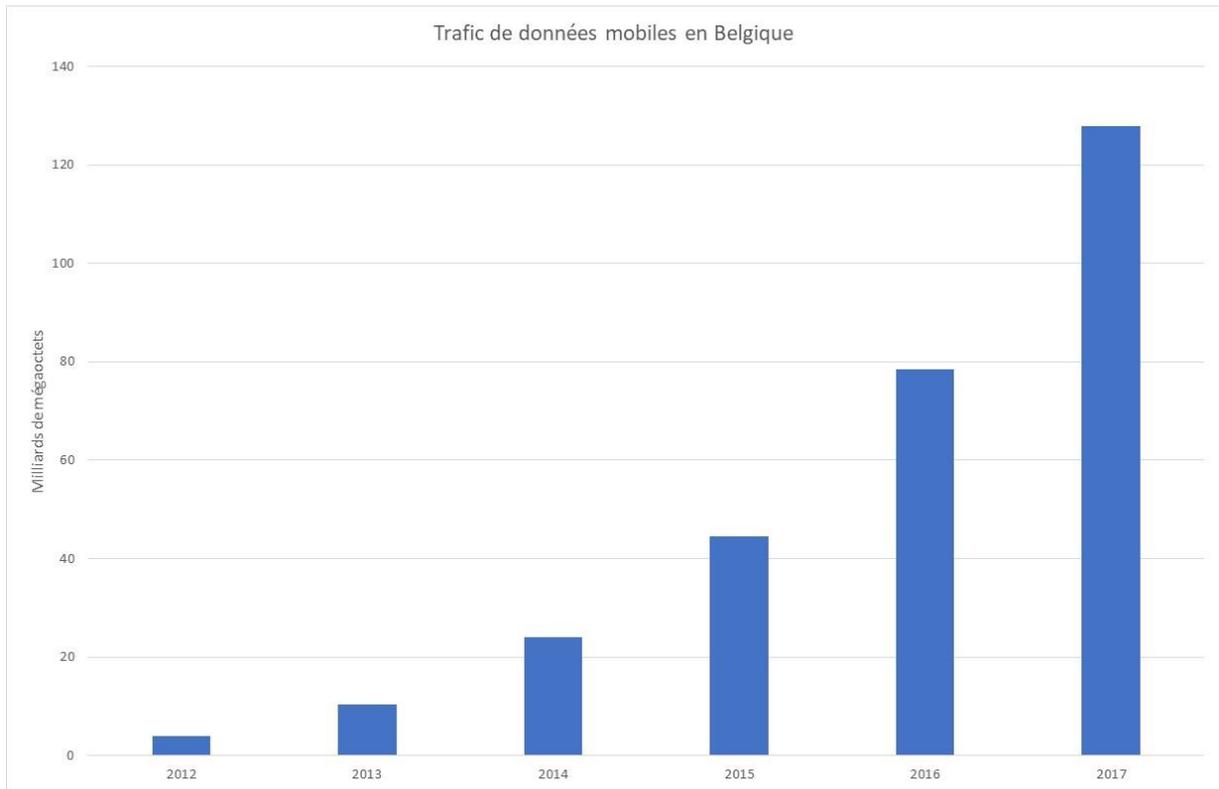
## 5.2. Augmentation du trafic

Le trafic de données mobiles a littéralement explosé en Belgique, en passant de 3,86 milliards de mégaoctets en 2012 à 127,84 milliards de mégaoctets en 2017 (voir figure 3)<sup>13</sup>. La consommation de données mensuelle moyenne pour la Belgique reste néanmoins bien en deçà de la moyenne de l'OCDE.

---

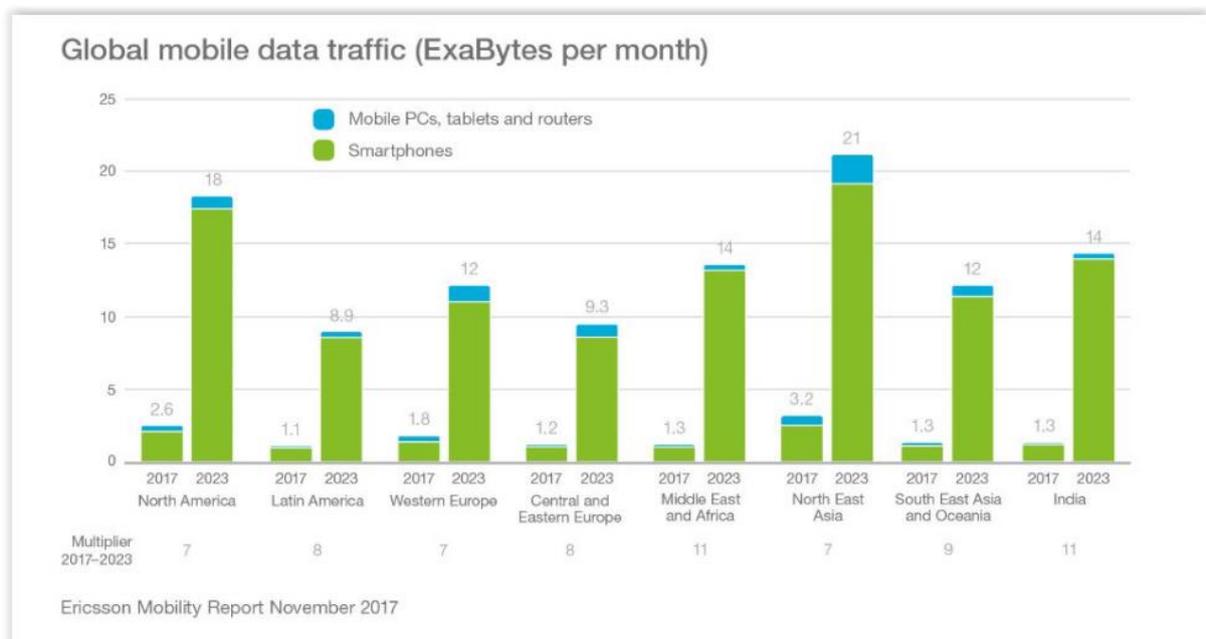
<sup>12</sup> *New Radio*.

<sup>13</sup> Voir « Situation du marché des communications électroniques et de la télévision en 2017 », section 5.



**Figure 3 - Evolution du trafic de données mobiles en Belgique entre 2012 et 2017**

Cette tendance devrait se poursuivre dans les années à venir. Selon les estimations d'Ericsson, le trafic de données mobiles, pour l'ensemble de l'Europe occidentale, devrait être multiplié par 7 entre 2017 et 2023, en passant de 1 800 milliards de mégaoctets par mois à 12 000 milliards de mégaoctets par mois (voir figure 4).



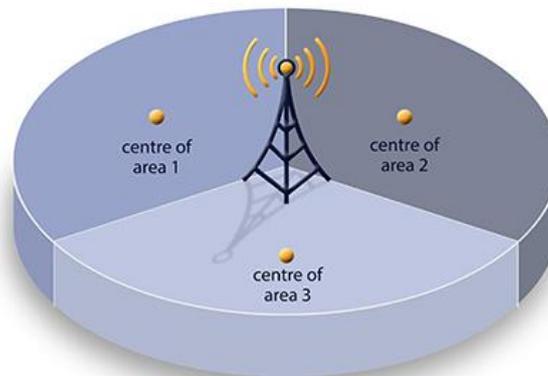
**Figure 4 - Prévisions de l'évolution du trafic mensuel de données mobiles en Europe occidentale**

### 5.3. Massive MIMO

La technologie 5G introduit un nouveau concept dans le monde de la téléphonie mobile : Massive MIMO. Il s'agit d'une technologie appliquée depuis plusieurs décennies déjà dans d'autres domaines (notamment militaires).

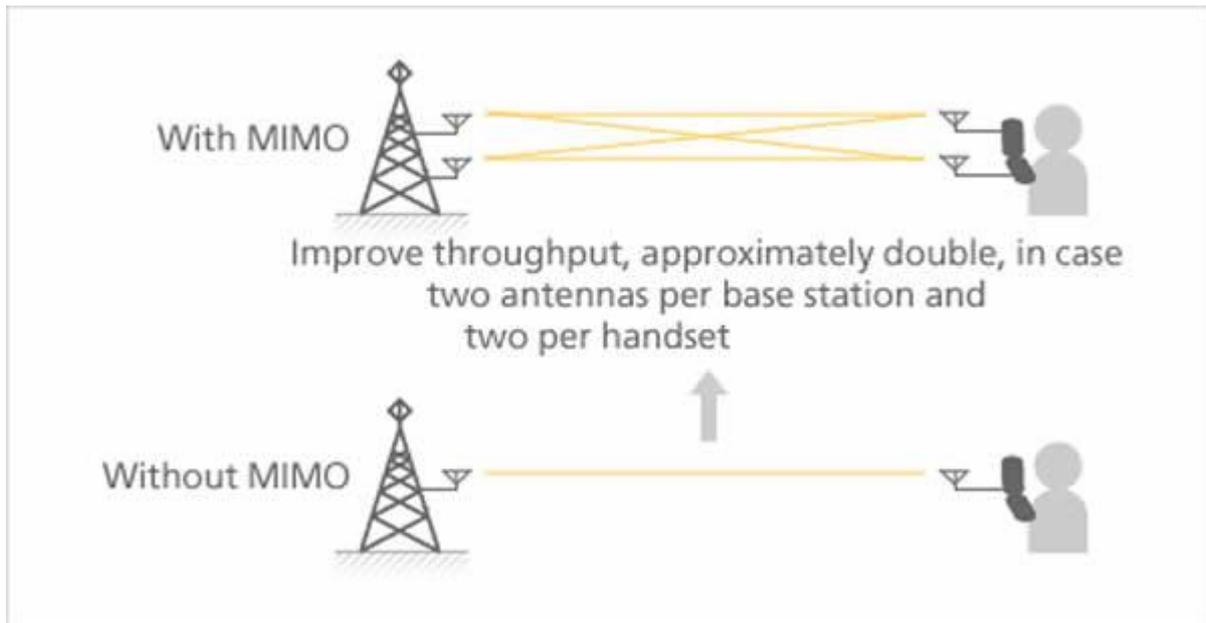
Un réseau de téléphonie mobile est classiquement composé d'antennes d'émission disséminées dans tout le pays. Par opérateur présent, 3 antennes (par technologie 2G, 3G ou 4G) se trouvent généralement sur le mât, chacune assurant la couverture d'une zone dans une direction différente autour du mât.

cell tower with 3 cells, each with 120° angle



**Figure 5 - Division en trois cellules de la zone autour d'un mât avec trois antennes sectorielles**  
(Sources : <http://wiki.opencellid.org/wiki/FAQ>)

Le concept MIMO (Multiple In Multiple Out) utilisera différentes antennes pour couvrir un même secteur d'antennes. Cette technique présente plusieurs avantages : augmenter le débit par utilisateur (multiplexage spatial), ou optimiser la qualité du signal aux endroits où la couverture est difficile (diversité spatiale). Les techniques MIMO classiques sont déjà utilisées à l'heure actuelle dans le monde de la téléphonie mobile : une configuration 2x2 MIMO est utilisée sur la plupart des mâts 4G (permettant un doublement du débit). Et même en 3G, la diversité des antennes a déjà été utilisée.

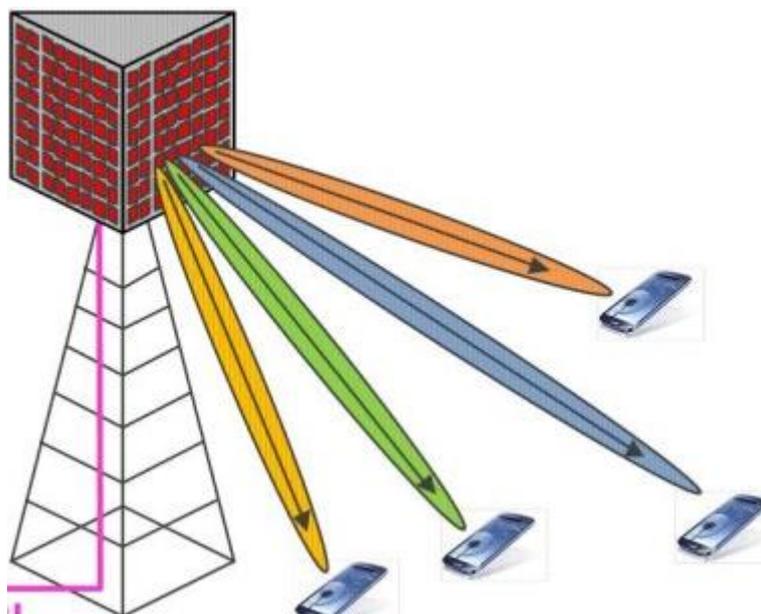


**Figure 6 - Présentation schématique des différentes connexions sans MIMO et pour 2x2 MIMO**  
 (Source : <https://www.4g.co.uk/4g-lte-advanced/>)

La grande nouveauté avec la 5G, c'est que différents flux MIMO seront utilisés pour envoyer simultanément un trafic différent à différents utilisateurs (MIMO multi-utilisateurs). Pour y parvenir, un grand nombre d'antennes est nécessaire. D'où le nom de « massive » MIMO. Dans le cas du MIMO classique, quelques antennes (par exemple 2 ou 4) sont utilisées pour l'émission ou la réception, mais dans le cas du massive MIMO, la station de base déploiera de nombreuses antennes (des dizaines, peut-être jusqu'à 100) disposées en grille (*array*).

Cela permet d'étendre considérablement la capacité de la station de base sans nécessiter plus de spectre. Le but est de desservir plusieurs utilisateurs simultanément sur la base de faisceaux d'antennes séparés par utilisateur.

Le massive MIMO est considéré comme l'une des clés et composantes de base d'un nouveau réseau 5G moderne.



**Figure 7 - [Source : [www.semanticscholar.org](http://www.semanticscholar.org)]**

Contrairement aux antennes de téléphonie mobile classiques, qui transmettent systématiquement tous les signaux à tous les utilisateurs de manière uniforme sur toute leur surface cellulaire, le système massive MIMO dirigera le signal vers le terminal mobile auquel il est destiné. En conséquence, il y a moins de gaspillage d'énergie car il n'y a pas de rayonnement dans les directions où cela n'est pas nécessaire (comme c'est toujours le cas aujourd'hui). En d'autres termes, le massive MIMO en 5G augmentera temporairement le niveau de rayonnement chez l'utilisateur, mais il y aura beaucoup moins de rayonnement constant pour tous ceux qui se trouvent dans la zone de couverture du mât.

## 6. Evolution des télécommunications mobiles en Belgique

### 6.1. Situation actuelle

Les trois opérateurs mobiles belges ont chacun un réseau 2G, un réseau 3G et un réseau 4G. Chacun de ces réseaux utilise à la fois une bande basse (en-dessous de 1000 MHz) et une bande haute (au-dessus de 1000 MHz).

Les bandes basses sont utilisées pour assurer une couverture de l'ensemble du territoire et une couverture à l'intérieur des bâtiments. Les bandes hautes sont en général utilisées uniquement là où de la capacité supplémentaire est nécessaire.

Le tableau 1 indique quelles technologies sont déployées dans quelles bandes.

Technologie	Bandes utilisées pour la couverture	Bandes utilisées pour la capacité
<b>2G</b>	900 MHz <sup>14</sup>	1800 MHz <sup>15</sup>
<b>3G</b>	900 MHz	2000 MHz <sup>16</sup>
<b>4G</b>	800 MHz <sup>17</sup>	1800 MHz

**Tableau 1 - Bandes utilisées par les réseaux mobiles en 2018**

Pour la 4.5G, les bandes 2000 MHz et/ou 2600 MHz<sup>18</sup> seront utilisées, en plus des bandes 800 MHz et 1800 MHz.

### 6.2. Enchères multi-bandes

Les autorisations 2G et 3G sont valides jusqu'au 15 mars 2021. Les bandes 900 MHz, 1800 MHz et 2000 MHz ne sont donc plus attribuées à partir de cette date. Ces bandes de fréquences sont utilisées intensément par les opérateurs mobiles.

Au niveau européen, trois nouvelles bandes de fréquences sont prévues pour les réseaux mobiles publics : 700 MHz<sup>19</sup>, 1400 MHz<sup>20</sup> et 3600 MHz<sup>21</sup>. Les bandes 700 MHz et 3600 MHz sont essentielles pour le déploiement de la 5G à partir de 2020. La bande 1400 MHz permet d'offrir de la capacité supplémentaire dans la voie descendante.

L'IBPT organisera, très probablement en 2019, une ou plusieurs enchères pour les six bandes susmentionnées.

<sup>14</sup> Bandes de fréquences appariées 880-915 MHz et 925-960 MHz.

<sup>15</sup> Bandes de fréquences appariées 1710-1785 MHz et 1805-1880 MHz.

<sup>16</sup> Bandes de fréquences appariées 1920-1980 MHz et 2110-2170 MHz.

<sup>17</sup> Bandes de fréquences appariées 852-862 MHz et 791-821 MHz.

<sup>18</sup> Bandes de fréquences appariées 2500-2570 MHz et 2620-2690 MHz.

<sup>19</sup> Bandes de fréquences appariées 703-733 MHz et 758-788 MHz.

<sup>20</sup> Bandes de fréquences 1427-1517 MHz.

<sup>21</sup> Bandes de fréquences 3400-3800 MHz.

Il faut noter que ces enchères représentent une opportunité pour un quatrième opérateur mobile. En effet, en plus de la mise à disposition de nouvelles bandes de fréquences, une quantité importante de spectre existant sera redistribuée.

### 6.3. Situation après 2020

Les opérateurs mobiles déploieront des réseaux 4.5G et des réseaux 5G.

Le tableau 2 indique quelles technologies sont déployées dans quelles bandes.

Technologie	Bandes utilisées pour la couverture	Bandes utilisées pour la capacité
<b>2G</b>	900 MHz	1800 MHz
<b>3G</b>	900 MHz	2000 MHz
<b>4G</b>	800 MHz	1800 MHz
<b>4.5G</b>	800 MHz	1800 MHz, 2000 MHz et 2600 MHz
<b>5G</b>	700 MHz	1400 MHz et 3600 MHz

**Tableau 2 - Bandes utilisées par les réseaux mobiles après 2020**

Lorsque les technologies 2G et 3G auront disparu, les bandes 900 MHz et 2000 MHz pourront être utilisées pour la 4.5G ou la 5G.

### 6.4. Arrêt de la 2G et/ou la 3G

Les technologies 2G et 3G sont appelées à disparaître dans le courant des années 2020.

La 3G ne pourra être éteinte que lorsque le nombre de smartphones non compatibles 4G sera devenu marginal<sup>22</sup>.

En Belgique, le nombre de téléphones mobiles 2G reste encore très élevé. De plus, de nombreux clients M2M<sup>23</sup> utilisent encore des modems 2G. L'arrêt de la 2G posera certainement plus de problèmes que l'arrêt de la 3G. Il est donc très probable que la 3G disparaisse avant la 2G.

Enfin, l'arrêt de la 2G empêcherait un nombre important de visiteurs étrangers de se connecter en itinérance aux réseaux mobiles belges.

Aujourd'hui, les technologies 2G, 3G ou VoLTE<sup>24</sup> peuvent être utilisées pour les appels vocaux. L'arrêt complet des technologies 2G et 3G nécessite donc que tous les terminaux supportent VoLTE.

Il faut remarquer que si on arrête un réseau 2G ou un réseau 3G, le trafic qui est supporté par ce réseau ne va pas disparaître et devra être repris par un autre réseau. Par conséquent, les rayonnements qui étaient produits par les réseaux 2G et 3G vont être remplacés par des rayonnements produits par un autre réseau.

Il est donc difficilement envisageable, à court terme, d'abandonner la 2G ou la 3G. Dans tous les cas, l'abandon combiné de la 2G et de la 3G avant le déploiement de la 5G n'est pas réaliste.

<sup>22</sup> En Belgique, en 2017, un peu plus de 79 % des cartes SIM actives des opérateurs de réseau mobile utilisaient des données mobiles. 70,4 % de ces cartes SIM génèrent du trafic 4G (« Situation du marché des communications électroniques et de la télévision en 2017 », section 5). On peut en conclure que 23% des cartes SIM sont utilisées avec des smartphones (ou tablettes/PC) non compatibles 4G.

<sup>23</sup> Fin 2017, le nombre de cartes SIM M2M, en Belgique, s'élevait à 2 384 188 (« Situation du marché des communications électroniques et de la télévision en 2017 », section 5).

<sup>24</sup> VoLTE (Voice over LTE) est la principale technique pour les appels vocaux 4G. Tous les terminaux 4G ne supportent pas VoLTE.

## 7. Evolution des normes bruxelloises

### 7.1. Généralités

L'augmentation du trafic de données mobiles a inévitablement un impact sur les puissances rayonnées par les antennes des opérateurs. En effet, selon les limites de la physique fondamentale, un certain niveau d'énergie minimum est nécessaire pour transmettre un bit d'information (vocale ou data). A efficacité égale et à sites d'émission inchangés, le niveau de rayonnement des antennes est donc proportionnel au débit des données.

Or, sans relâchement des normes de rayonnement bruxelloises, le trafic de données mobiles ne pourra pas continuer à croître, peu importe la ou les technologies déployée(s). Les normes de rayonnement bruxelloises actuelles ne permettent donc pas d'assurer dans le futur un réseau de qualité et performant, même avec les seules technologies actuellement utilisées.

L'ajout de nouveaux sites d'émissions permettra quelque peu de réduire les problèmes. Cependant, en dehors du surcoût pour l'opérateur, et donc au final pour le consommateur, la construction de nouvelles antennes est problématique pour les opérateurs. En effet, la norme bruxelloise extrêmement restrictive n'a pas eu pour effet de rassurer la population, mais plutôt l'inverse. Il est donc devenu extrêmement difficile pour les opérateurs de trouver des nouveaux sites d'émissions. De plus, les procédures administratives sont très complexes.

La disparition des technologies 2G et 3G permettra certes d'augmenter l'efficacité spectrale pour l'utilisation des bandes 900 MHz et 2000 MHz. Cette augmentation de l'efficacité spectrale ne permettra cependant pas, à elle seule, de faire face à une multiplication par 7 du trafic de données mobiles. D'une part, cette augmentation est limitée à deux bandes de fréquences. D'autre part, les technologies 2G et 3G ont constamment évolué et leur efficacité spectrale a déjà considérablement évolué par rapport aux déploiements initiaux. La disparition des technologies 2G et 3G ne permettrait donc pas de libérer de la place pour la 5G, en termes de quotas de rayonnements.

### 7.2. Massive MIMO

Comme on peut le voir sur la figure 7, une antenne massive MIMO concentrera beaucoup plus son énergie qu'une antenne classique pour la 2, 3 ou 4G. L'exposition à la puissance sera alors 5 fois<sup>25</sup> supérieure, avec une intensité de champ calculée théorique plus que doublée, et ce, par le simple fait de la nouvelle antenne.

Comme indiqué plus haut, le massive MIMO utilise un grand nombre d'antennes pour diriger le signal du mât vers le terminal mobile auquel il est destiné. Il s'agit là d'une différence majeure par rapport à aujourd'hui, y compris en termes d'exposition. À l'heure d'aujourd'hui, une personne qui se trouve dans une cellule du réseau mobile sera soumise à une certaine intensité de champ du mât, que cette personne utilise ou non elle-même le réseau mobile. Ce sera différent avec une antenne massive MIMO en 5G. Une personne qui n'utilise pas le réseau (à un moment donné) sera alors soumise à une intensité de champ considérablement inférieure.

L'exposition permanente qu'une cellule de réseau classique génère à un endroit donné disparaît donc et est « remplacée » par une exposition stochastique (séquence d'états aléatoires). Le faisceau « passe » d'un endroit à l'autre selon la personne à desservir à ce moment. L'exposition à un endroit déterminé est donc devenue un événement ostensiblement aléatoire. Les calculs classiques dans le cadre desquels l'exposition pouvait être calculée en se basant sur la puissance de la cellule et le type d'antenne et pour lesquels il était possible de déterminer ainsi en un seul calcul une exposition permanente, deviennent donc caduques.

---

<sup>25</sup> Une antenne type pour la 4G a un gain d'environ 17 dBi, tandis qu'une antenne pour le massive MIMO en 5G aura un gain de l'ordre de 24 dBi. Cela donne une différence de 7dB (ce qui équivaut à une augmentation d'un facteur 5).

L'exposition devient donc aléatoire (stochastique) et cela signifie que des méthodes d'analyse statistique devront être utilisées pour caractériser l'exposition. Une telle analyse a déjà été réalisée et suggère qu'avec une forte probabilité (95 %), une exposition aléatoire (à un endroit aléatoire) sera 4 fois (6 dB) inférieure à celle calculée sur la base de la méthode classique<sup>26</sup>.

Cette valeur de 6 dB a également été reprise dans la norme IEC 62232<sup>27</sup>.

La prise en compte de ce facteur de correction de 6 dB est défendable étant donné qu'une intensité de champ plus élevée n'est ressentie que dans des cas exceptionnels. De plus, le contrôle des normes de rayonnement se fait généralement sur la base d'une mesure de la moyenne sur une certaine période, de sorte que la prise en compte de ces 6 dB donne une valeur qui coïncide davantage avec les mesures.

### 7.3. Limites optimales (puissance nominale, qualité maximale)

Dans cette section, nous examinons quel serait l'intensité du champ si un mât devait être équipé de toutes les technologies actuelles (y compris la 4.5G) et de la 5G, de telle sorte que toutes ces technologies puissent également fonctionner avec une qualité maximale (à puissance nominale donc).

Un site typique n'utilisera pas nécessairement toutes ces technologies dans toutes ces bandes à pleine puissance. L'opérateur décidera au cas par cas quelles bandes et puissances il y a lieu d'utiliser. Dans la plupart des cas, ces valeurs d'exposition ne seront pas atteintes. Cette simulation présente donc la situation au sein de laquelle l'opérateur veut disposer de toutes les possibilités maximales.

Nous nous basons pour cela sur les hypothèses suivantes (par opérateur) – la correction de 6 dB pour le massive MIMO ayant été reprise de la norme IEC62232, comme expliqué à la section 7.2 :

Technologie Bande	NR 700	LTE 800	GSM 900	UMTS 900	NR 1400	LTE 1800	LTE 2000	LTE 2600	NR 3600
<b>Puissance (W)</b>	CONFIDENTIEL – CONFIDENTIEL – CONFIDENTIEL								
<b>Rapport Tx</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	0.7
<b>Facteur de correction (dB)<sup>28</sup></b>	3	3	8	3	3	3	3	3	6
<b>Gain d'antenne (dBi)<sup>29</sup></b>	16.5	17	17	17	16	17	17.5	17.5	24

**Tableau 3 - Hypothèses**

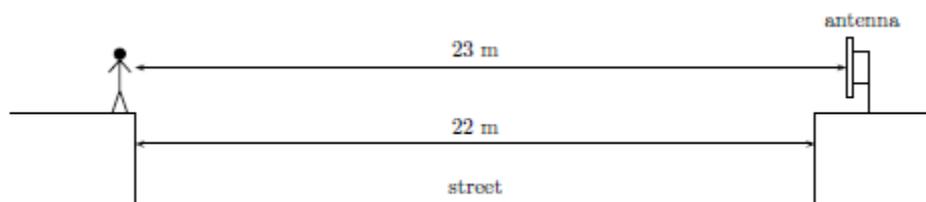
<sup>26</sup> Compte tenu du fait que les services mobiles ne sont pas continuellement utilisés au débit maximal, que les personnes se déplacent et que les utilisateurs sont répartis de manière plus ou moins proportionnelle dans la cellule, des études scientifiques montrent qu'avec une probabilité de 95 %, le niveau de rayonnement ressenti par les personnes présentes dans la cellule est au moins 4 fois (6 dB) inférieur (dans de nombreux cas, il est même beaucoup plus faible) au niveau de rayonnement maximal dans la cellule (qui se déplace donc de manière stochastique).

<sup>27</sup> IEC 62232:2017 « Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure ».

<sup>28</sup> Ces valeurs ont été reprises de l'arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 30 octobre 2009 relatif à certaines antennes émettrices d'ondes électromagnétiques, à l'exception de la valeur de 6 dB pour le massive MIMO, reprise de la norme IEC62232.

<sup>29</sup> Pour le gain d'antenne, les valeurs ont été reprises pour l'antenne de station de base type E000017X65V12D10 de la société Gamma Nu.

Pour calculer l'intensité de champ, nous nous basons sur une rue d'une largeur de 22 mètres. L'antenne est située sur le toit d'un immeuble d'un côté de la rue et le point accessible au public le plus proche est le toit de l'immeuble d'en face. L'antenne est située 1 mètre en retrait par rapport à la ligne de façade du bâtiment où elle est installée. Nous atteignons ainsi une distance d'au moins 23 mètres entre l'antenne et le lieu accessible au public.



**Figure 8 - Scénario typique en environnement urbain**

En partant de la configuration ci-dessus, nous obtenons les intensités de champ suivantes (recalculées sur 900 MHz, selon la méthode décrite à l'annexe 1), selon le cas :

	<b>Par opérateur</b>	<b>Total pour 3 opérateurs</b>
<b>Sans 5G/NR</b>	17,7 V/m	30,7 V/m
<b>Avec 5G/NR</b>	24,0 V/m	41,5 V/m
<b>5G/NR seule</b>	16,1 V/m	27,9 V/m

**Tableau 4 - Champs produits**

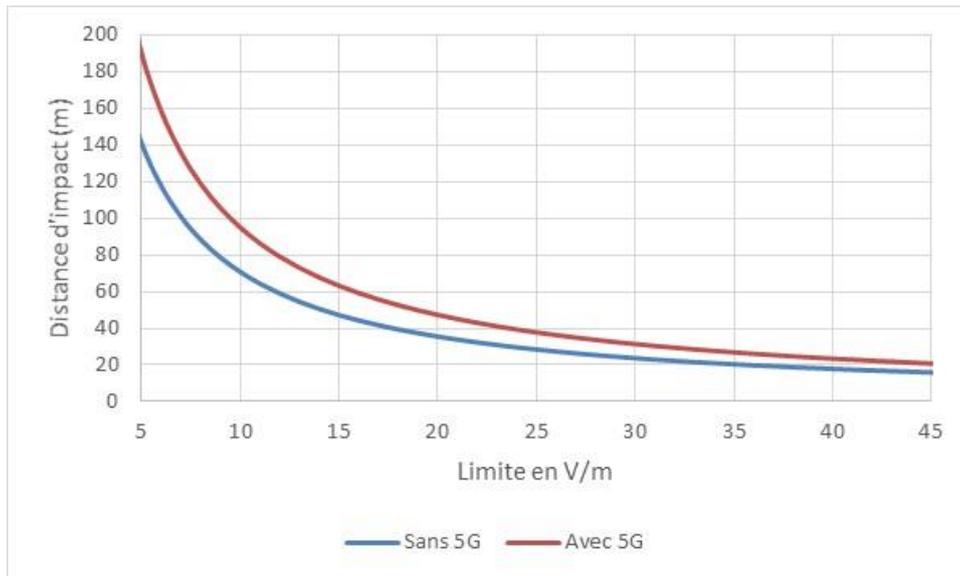
Il faut noter que même avec un facteur correctif de 6 dB pour le massive MIMO, la contribution de la bande 3600 MHz est de très loin la plus importante et dépasse très largement les limites par antenne imposées en Région flamande et en Région wallonne.

Les rayonnements produits par la 5G seule sont équivalents aux rayonnements produits par l'ensemble des autres technologies (2G, 3G, 4G et 4.5G)

On considère qu'une station de base subit un impact suite à la norme de rayonnement, si celle-ci ne peut pas émettre à sa puissance nominale. Pour rappel, la réduction de la puissance d'une station de base affecte à la fois la couverture (en particulier à l'intérieur) et la capacité à couvrir simultanément les besoins d'un nombre important d'utilisateurs.

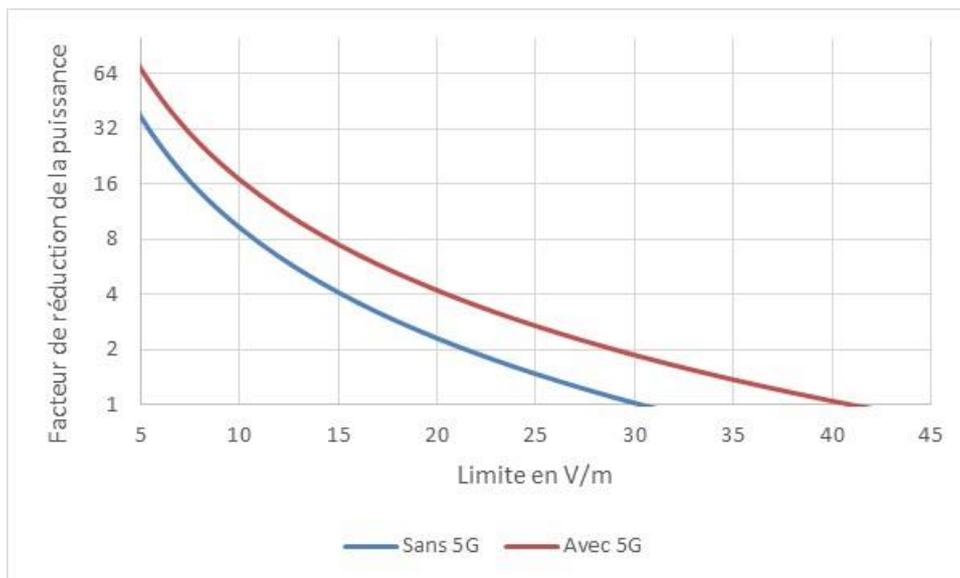
Pour qu'une station de base comme celle représentée à la figure 8, ne subisse aucun impact et puisse continuer à émettre à sa puissance nominale, il faudrait donc une limite cumulative d'au moins 30,7 V/m sans l'introduction de la 5G, ou de 41,5 V/m avec l'introduction de la 5G. La limite de 41,5 V/m correspond quasiment aux recommandations internationales (41,25 V/m).

La figure 9 montre, en fonction de la limite cumulative en vigueur, la distance à laquelle un site d'émission doit être situé des zones accessibles au public, afin de ne pas subir d'impact (avec trois opérateurs actifs sur le site).



**Figure 9 - Distance d'impact en fonction de la limite de rayonnement**

La figure 10 montre, en fonction de la limite cumulative en vigueur, la réduction de la puissance, par rapport à la puissance nominale (pour une station de base comme celle représentée à la figure 6), nécessaire afin de respecter la norme de rayonnement en vigueur (avec trois opérateurs actifs sur le site).



**Figure 10 - Réduction de puissance nécessaire en fonction de la limite de rayonnement**

#### 7.4. Limites conservatives (puissance actuelle par MHz, qualité actuelle)

Les opérateurs utilisent actuellement, ensemble, 185 MHz duplex<sup>30</sup> en mode FDD<sup>31</sup> pour leurs réseaux 2G, 3G et 4G. Les stations de base de tous les réseaux mobiles transmettent donc dans un total de 185 MHz.

<sup>30</sup> 30 MHz duplex dans la bande 800 MHz, 35 MHz duplex dans la bande 900 MHz, 75 MHz duplex dans la bande 1800 MHz et 45 MHz duplex dans la bande 2000 MHz.

<sup>31</sup> *Frequency Division Duplex*.

A moyen terme, les opérateurs utiliseront du spectre supplémentaire : 100 MHz duplex<sup>32</sup> en mode FDD, 380 MHz<sup>33</sup> en mode TDD<sup>34</sup> et 90 MHz<sup>35</sup> en mode SDL<sup>36</sup>. Les stations de base de tous les réseaux mobiles transmettent donc dans un total de 375 MHz plus 380 MHz pendant 75 % du temps (en supposant une asymétrie 3:1), soit dans l'équivalent de 660 MHz<sup>37</sup>.

La qualité d'une liaison radio dépend, entre autres, de la densité spectrale de puissance, c'est-à-dire de la puissance qui est transmise par Hz. Il est impératif que les opérateurs ne soient pas obligés de réduire la densité spectrale de puissance fournie aux antennes.

Pour la bande 3600 MHz, les opérateurs utiliseront des antennes « massive MIMO ». Les gains maximums de ces antennes devraient être d'environ 24 dBi, soit environ 7 dB de plus que le gain maximum des antennes classiques (voir section 7.2). Concrètement, le champ maximum produit est  $\sqrt{5}$  fois plus élevé qu'avec une antenne classique. Il est impératif que la méthode de calcul, fixée dans les arrêtés d'exécution, soit adaptée afin de prendre en compte les antennes « massive MIMO ».

Si la méthode de calcul ne prend pas en compte les antennes « massive MIMO », la limite de puissance surfacique (exprimée en  $W/m^2$ ) doit être multipliée par le ratio entre  $(375 + 285 \times 5)$  et  $185^{38}$ , ce qui correspond à une limite cumulative de  $0,934 W/m^2$  (soit  $18,7 V/m$ ) pour une fréquence de 900 MHz.

Si la méthode de calcul permet de prendre en compte les antennes « massive MIMO » en appliquant un facteur correctif de 6 dB (voir section 7.2), la limite de puissance surfacique (exprimée en  $W/m^2$ ) doit être multipliée par le ratio entre  $(375 + 285 \times 2,5)$  et  $185^{39}$ , ce qui correspond à une limite cumulative de  $0,564 W/m^2$  (soit  $14,5 V/m$ ) pour une fréquence de 900 MHz.

Les limites susmentionnées devraient seulement permettre de ne pas augmenter le nombre de stations de base qui subissent un impact suite à la norme de rayonnement, c'est-à-dire le nombre de stations de base qui ne peuvent pas émettre à leur puissance nominale. Or, on sait que le nombre de stations de base qui subissent un impact est déjà très élevé. Ces limites devraient en effet permettre un certain déploiement de la 5G à Bruxelles dans des conditions qui pourraient être similaires aux conditions de déploiement de la 4G au cours de ces dernières années. Or, on sait que les conditions de déploiement de la 4G ont conduit, afin de respecter les normes imposées, à une importante sous-utilisation du potentiel des installations et, par conséquent, à une inefficacité de l'utilisation des ressources rares pour la fourniture d'un service de qualité aux utilisateurs. Ces limites constituent donc un seuil sous lequel il est difficilement envisageable de descendre sans galvauder une qualité minimale, mais elles ne permettraient certainement pas un développement optimal du secteur des télécommunications et devraient dès lors être revues à la hausse à brève échéance, à défaut de quoi des congestions sur les réseaux pourraient être rapidement observées.

## 8. Conclusions

Pour le déploiement de la 5G, il est impératif que la méthode de calcul, fixée dans les arrêtés d'exécution, soit adaptée afin de prendre en compte les antennes « massive MIMO ». Cette

---

<sup>32</sup> 30 MHz duplex dans la bande 700 MHz et 70 MHz duplex dans la bande 2600 MHz.

<sup>33</sup> 380 MHz dans la bande 3600 MHz.

<sup>34</sup> *Time Division Duplex*.

<sup>35</sup> 90 MHz dans la bande 1400 MHz.

<sup>36</sup> *Supplemental Downlink*.

<sup>37</sup>  $375 \text{ MHz} + 0,75 \times 380 \text{ MHz}$ .

<sup>38</sup>  $24 \text{ dBi} - 17 \text{ dBi} = 7 \text{ dB}$  (ou 5).

<sup>39</sup>  $24 \text{ dBi} - 17 \text{ dBi} - 6 \text{ dB}$  (facteur correctif massive MIMO) +  $3 \text{ dB}$  (facteur correctif LTE) =  $4 \text{ dB}$  (ou 2,5).

exigence vaut aussi bien pour les Régions flamande et wallonne, que pour la Région de Bruxelles-Capitale.

La norme de 6 V/m ne permet pas de faire face à l'augmentation prévue du trafic de données mobiles, peu importe la technologie utilisée pour transporter ces données. Elle ne permet donc pas d'assurer dans le futur un réseau de qualité et performant avec les technologies actuellement utilisées. Certes, l'ajout de nouveaux sites d'émissions permettra de réduire quelque peu les problèmes. Cependant, en dehors du surcoût pour l'opérateur, et donc au final pour l'utilisateur, la construction de nouvelles antennes restera problématique et ne constituera pas une réelle solution. Sans une modification des normes de rayonnement bruxelloises, la couverture des réseaux et leur capacité à couvrir simultanément les besoins d'un nombre important d'utilisateurs sera fortement affectée.

La norme de 6 V/m ne permet pas de déployer la 5G à Bruxelles. La 5G, seule, doit pouvoir produire au moins autant de rayonnements que ce qui est produit par les technologies actuellement utilisées.

Il est difficilement envisageable, à court terme, d'abandonner la 2G ou la 3G. Dans tous les cas, l'abandon combiné de la 2G et de la 3G avant le déploiement de la 5G n'est pas réaliste. La disparition des technologies 2G et 3G ne permettrait de toute façon pas de libérer de la place pour la 5G.

L'IBPT déconseille fortement une limite cumulative qui serait inférieure à 14,5 V/m pour une fréquence de 900 MHz. Une limite conservatrice de 14,5 V/m devrait seulement permettre un début de déploiement minimal de la 5G à Bruxelles dans des conditions relativement similaires aux conditions de déploiement de la 4G ces dernières années, dont on a pu constater qu'elles sont insuffisantes. De plus la limite de 14,5 V/m constitue un seuil qui devra rapidement être revu à la hausse étant donné que ce seuil imposera une limitation à l'évolution actuelle en matière de consommation de données, ce qui entraînera une congestion au niveau de l'accès radioélectrique au réseau plus rapidement qu'à d'autres endroits. Enfin, la limite conservatrice de 14,5 V/m suppose la prise en compte des antennes « massive MIMO » en appliquant un facteur correctif de 6 dB.

C'est pourquoi l'IBPT propose d'adopter la norme au-dessus de 14,5 V/m et jusqu'à 41,5 V/m. Plus on se rapproche de la norme européenne, plus cela garantira la capacité et la qualité des réseaux mobiles, et cela assurera donc également l'expérience de l'utilisateur pour les clients finals. Cela nous permettra de faire partie de la tête du peloton européen concernant le déploiement de réseaux 5G.

## Annexe 1 : Comparaison des normes nationales

### Région de Bruxelles-Capitale

Pour la Région de Bruxelles-Capitale (limite cumulative), on prend une moyenne des limites pour les différentes technologies/bandes de fréquences.

Technologie/Bande	Fréquence centrale (MHz)	Limite (W/m <sup>2</sup> )	
		Actuellement	Après 2020
NR700	773,0		0,08245
L800	806,0	0,08597	0,08597
G900	942,5	0,10053	0,10053
U900	942,5	0,10053	0,10053
NR1400	1472,0		0,15701
G1800	1842,5	0,19653	0,19653
L1800	1842,5	0,19653	0,19653
U2000	2140,0	0,22000	0,22000
L2600	2655,0		0,22000
NR3600	3600,0		0,22000
<b>Moyenne</b>		<b>0,15002</b>	<b>0,15796</b>

### Région flamande

Pour la Région flamande (limite par antenne), on additionne les limites des différentes antennes<sup>40</sup>.

Antenne	Fréquence centrale (MHz)	Limite (W/m <sup>2</sup> )	
		Actuellement	Après 2020
NR700	773,0		0,02052
L800	806,0	0,02139	0,02139
G900	942,5	0,02502	0,02502
U900	942,5	0,02502	0,02502
NR1400	1472,0		0,03907
G1800	1842,5	0,04891	0,04891
L1800	1842,5	0,04891	0,04891
U2000	2140,0	0,05328	0,05328
L2600	2655,0		0,05328

<sup>40</sup> Une antenne par technologie et par bande de fréquences.

Antenne	Fréquence centrale (MHz)	Limite (W/m <sup>2</sup> )	
		Actuellement	Après 2020
NR3600	3600,0		0,05328
<b>Total (3 opérateurs)</b>		<b>0,66756</b>	<b>1,16599</b>

### Région wallonne

Pour la Région wallonne (limite par antenne), on additionne les limites des différentes antennes<sup>41</sup>. Lorsqu'une technologie est utilisée dans plusieurs bandes de fréquences, on prend pour cette technologie (antenne) une moyenne des limites pour les différentes bandes de fréquences.

Technologie/Bande	Antenne	Limite (W/m <sup>2</sup> )	
		Actuellement	Après 2020
NR700	NR		0,02389/3
L800	LTE	0,02389/2	0,02389/3
G900	GSM	0,02389	0,02389
U900	UMTS	0,02389/2	0,02389/2
NR1400	NR		0,02389/3
G1800	DCS	0,02389	0,02389
L1800	LTE	0,02389/2	0,02389/3
U2000	UMTS	0,02389/2	0,02389/2
L2600	LTE		0,02389/3
NR3600	NR		0,02389/3
<b>Total (3 opérateurs)</b>		<b>0,28668</b>	<b>0,35835</b>

---

<sup>41</sup> Une antenne par technologie.

## Annexe 2 : Méthode de calcul utilisée pour obtenir les limites optimales

L'intensité de champ à une distance donnée R d'une antenne d'émission, avec un gain  $G_{Tx}$  qui émet avec une puissance de crête donnée  $P_{Tx}$ , est déterminée sur la base de la formule pour l'espace libre :

$$E_{eff} = \frac{\sqrt{30 P_{Tx} G_{Tx}}}{R}$$

Cette intensité de champ est alors multipliée par le rapport Tx (TDD) et, le cas échéant, corrigée sur la base des facteurs de correction de l'arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale *relatif à certaines antennes émettrices d'ondes électromagnétiques* » du 30 octobre 2009.

Pour parvenir ensuite à une intensité de champ équivalente référencée à 900 MHz, la conversion suivante est appliquée, ce qui est également conforme à l'approche de l'ICNIRP :

$$\text{als } f < 400\text{MHz} : E_{eff,900} = \sqrt{\frac{900}{400}} \times E_{eff}$$

$$\text{als } 400\text{MHz} < f < 2\text{GHz} : E_{eff,900} = \sqrt{\frac{900}{f}} \times E_{eff}$$

$$\text{als } f > 2\text{GHz} : E_{eff,900} = \sqrt{\frac{900}{2000}} \times E_{eff}$$

Ensuite, toutes les intensités de champ référencées à 900 MHz peuvent être combinées pour les différentes technologies dans les différentes bandes de fréquences. Cela se fait sur la base de la formule suivante :

$$E_{eff,900,totaal} = \sqrt{\sum_i E_{eff,900,i}^2}$$

En supposant que les trois opérateurs utilisent une configuration similaire, l'intensité de champ totale répartie entre tous les opérateurs réunis sera donc un facteur  $\sqrt{3}$  supérieur à l'intensité de champ totale par opérateur.