
Rapport

Téléphonie mobile et rayonnement

Publié par le groupe de travail Téléphonie mobile et rayonnement
sur mandat du DETEC

18 novembre 2019

Impressum

Le présent rapport a été élaboré sur mandat du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) par le groupe de travail instauré à cet effet. Les contenus factuels des chapitres 1 à 7 sont approuvés par tous les membres du groupe de travail. Les options ont été proposées de manière détaillée par les diverses parties prenantes. Les descriptions succinctes ainsi que les évaluations fournies à leur égard aux chapitres 8 et 9, quant à elles, sont le fruit du travail du groupe entier. Enfin, les membres du groupe de travail adhèrent sans exception aux mesures d'accompagnement précisées au chapitre 10.

Membres du groupe de travail

(par ordre alphabétique)

Valentin Delb	Chef de section, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, canton de Zurich, délégué de la Conférence des chefs des services de protection de l'environnement (CCE)
Gregor Dudle	Dr. ès sc., directeur suppléant, Institut fédéral de métrologie (METAS) (suppléant : Dr. Marc-Olivier André)
Gregor Dürrenberger	Dr. sc. nat., directeur, Fondation de recherche sur l'électricité et la communication mobile (FSM)
Christian Grasser	Directeur, Association suisse des télécommunications (asut)
Philippe Horisberger	Directeur suppléant, Office fédéral de la communication (OFCOM)
Harry Künzle	Ing. él. dipl. HES, chef Dienststelle Umwelt und Energie, ville de St-Gall Délégué Union des villes suisses (UVS) (suppléant : Andreas Küng)
Niels Kuster	Prof. Dr., Directeur, IT'IS Foundation (suppléant : Dr. Sven Kühn)
Stephan Netzle	Dr. iur., président de la Commission fédérale de la communication (ComCom)
Manfred Portmann	Service de l'environnement, canton de Fribourg, délégué CCE
Carlos Quinto	Dr. med., Fédération des médecins suisses (FMH) (suppléante : Yvonne Gilli)
Alexander Reichenbach	Dipl. sc. nat. EPF, chef de section, Office fédéral de l'environnement (OFEV)
Martin Röösli	Prof. Dr. phil. nat., professeur d'épidémiologie environnementale, Institut tropical et de santé publique suisse (Swiss TPH), directeur du groupe d'experts BERENIS
Andreas Siegenthaler	Dr. phil. nat., collaborateur scientifique, OFEV
Paul Steffen	Dr. sc. nat., sous-directeur, OFEV (direction)
Edith Steiner	Dr. med., Médecins en faveur de l'environnement (MfE)
Evelyn Stempfel	Dr. phil. nat., cheffe de section, Office fédéral de la santé publique
Sanne Stijve	Ing. él. dipl. EPFL, chef de projet, Office fédéral de la protection de la population (OFPP) (suppléant : Frédéric Jorand)
Jürg Studerus	Swisscom (Suisse) SA (suppléant : Dr. Hugo Lehmann)
Urs Walker	Avocat, chef de section, OFEV
Felix Weber	Salt Mobile SA
Rolf Ziebold	Sunrise Communications SA

Mandat de conseil externe et secrétariat

Jürg Minger und Silvia Zimmermann,
Federas Beratung AG

Traduction

Cette publication est également disponible en allemand et en italien. Le Management Summary, quant à lui, est aussi disponible en anglais. La langue originale est l'allemand.

Table des matières

Management Summary	5
1 Introduction.....	13
1.1 Contexte	13
1.2 Objectifs et procédure.....	13
2 Bases légales.....	15
2.1 Domaine des télécommunications	15
2.2 Domaine de l'environnement	15
2.3 Autres domaines juridiques.....	16
3 Technologie de téléphonie mobile	17
3.1 Les réseaux mobiles en Suisse	17
3.2 Introduction de la 5G.....	17
4 Faits et prévisions.....	21
4.1 Volumes de données	21
4.2 Architecture des réseaux.....	24
4.3 Degré d'exploitation des valeurs limites	28
4.4 Coûts du développement de la 5G	38
5 Liens entre émissions, immissions et exposition.....	39
5.1 Notions	39
5.2 Les sources de RNI de haute fréquence en tant qu'émissions	39
5.3 Immissions liées au RNI	39
5.4 Exposition environnementale par des sources à distance	40
5.5 Exposition liée à des appareils à proximité du corps	46
5.6 Comparaison de l'exposition pour les sources à proximité du corps et celles éloignées du corps	48
5.7 Facteurs ayant une influence sur l'exposition et possibilités de minimisation.....	51
5.8 Modélisation de l'exposition aux stations de base et terminaux 5G.....	55
6 Effets sur la santé	58
6.1 Remarques liminaires	58
6.2 Objectifs et démarche	58
6.3 Méthodologie	60
6.4 État des connaissances en 2014.....	61
6.5 Rapports d'expertise internationaux depuis 2014	63
6.6 Évaluation du niveau de preuve à l'aide des nouvelles études	65
7 Procédures et exécution	70
7.1 Recherche d'emplacements pour les stations de base	70
7.2 Autorisation et exécution par les cantons et les communes	72
7.3 Travaux actuels relatifs à l'ORNI et aux aides à l'exécution	79

8	Options.....	81
8.1	1 ^{re} option Statu quo en ce qui concerne les exigences de l'ORNI	86
8.2	2 ^e option Pas de modification de la valeur limite de l'installation, mais exigences plus strictes dans l'ORNI concernant les petites cellules et les antennes adaptatives.....	87
8.3	3 ^e option Relèvement et uniformisation de la valeur limite de l'installation à 6 V/m et évaluation basée sur la valeur moyenne	89
8.4	4 ^e option Relèvement de la valeur limite de l'installation à 11,5 V/m par opérateur	91
8.5	5 ^e option Relèvement et uniformisation de la valeur limite de l'installation à 20 V/m	92
9	Approches possibles dans l'optique des évolutions futures.....	94
9.1	Promotion des petites cellules dans les réseaux hybrides grâce à une coopération renforcée entre les villes/communes et les opérateurs de téléphonie mobile.....	94
9.2	Séparation entre la couverture à l'intérieur des bâtiments et la couverture à l'extérieur	97
10	Mesures d'accompagnement.....	99
10.1	Simplification et harmonisation de l'exécution	99
10.2	Monitoring de l'exposition.....	101
10.3	Information et sensibilisation de la population	103
10.4	Encouragement de la recherche concernant les effets potentiels de la téléphonie mobile sur la santé.....	105
10.5	Service de consultation de médecine environnementale sur le RNI	108
10.6	Création de la plateforme d'échange « Téléphonie mobile du futur »	110
11	Recommandations	112
Annexe 1 : Mesures examinées		113
Annexe 2 : Interventions parlementaires		116
Annexe 3 : Mandats et membres du groupe central et des sous-groupes		118
Annexe 4 : Liste des abréviations utilisées		122
Annexe 5 : Références		124

Management Summary

En Suisse, le déploiement de la 5^e génération de téléphonie mobile a commencé (5G). Le présent rapport expose des faits techniques concernant la 5G, aborde la question de l'exploitation des réseaux de téléphonie mobile suisse et de la régulation celle-ci, estime l'exposition de la population au rayonnement non ionisant (RNI) et résume les principales connaissances scientifiques acquises au sujet des possibles effets sur la santé de cette exposition. Il est le fruit d'un groupe de travail interdisciplinaire mis sur pied par le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Contexte

Souhaitant que la Suisse exploite les possibilités offertes par la numérisation, le Conseil fédéral a lancé en 2016 la stratégie « Suisse numérique », dont la création de réseaux de transmission ouverts et performants pour une société de l'information concurrentielle représente un élément essentiel.

La loi sur les télécommunications a pour but d'assurer aux particuliers et aux milieux économiques des services de télécommunication variés, avantageux, de qualité et concurrentiels sur le plan national et international. En Suisse, la concurrence et l'orientation vers le marché permettent d'offrir des services de télécommunication de haute qualité.

La loi sur la protection de l'environnement (LPE) vise à protéger les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes contre les atteintes nuisibles ou incommodes et de conserver durablement les ressources naturelles. Les atteintes qui pourraient devenir nuisibles ou incommodes doivent ainsi être réduites à titre préventif et assez tôt. À ce titre, les émissions doivent être limitées dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable.

Afin de protéger la population contre le rayonnement non ionisant (RNI) des antennes de téléphonie mobile, le Conseil fédéral a défini deux types de valeurs limites dans l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI) : les valeurs limites d'immissions (VLI) et les valeurs limites de l'installation (VLInst). Les VLI protègent la population contre les effets sur la santé qui ont été prouvés scientifiquement (réchauffement des tissus corporels) et doivent être respectées partout où des personnes peuvent séjourner – même durant une courte période. Elles correspondent aux valeurs qu'appliquent la majorité des pays voisins et oscillent entre 36 et 61 volts par mètre (V/m) dans le domaine des fréquences de téléphonie mobile.

Étant donné que certaines recherches scientifiques plus ou moins bien étayées mettent en évidence d'autres effets, l'ORNI fixe également des VLInst qui concrétisent le principe de précaution défini dans la LPE. Variant entre 4 et 6 V/m, ces valeurs sont dix fois plus faibles que les VLI. Dans les lieux où des personnes séjournent régulièrement pendant une période prolongée, l'intensité du champ électrique d'une installation de téléphonie mobile au sens de l'ORNI ne peut dépasser un dixième de la VLI. Sont notamment considérés comme « lieux à utilisation sensible » (LUS) les habitations, les écoles, les hôpitaux, les postes de travail permanents ou les places de jeux définies dans un plan d'aménagement. Grâce aux VLInst, le RNI des antennes de téléphonie mobile est limité de manière nettement plus stricte en Suisse que dans la plupart des États européens.

Le développement à venir des réseaux mobiles a suscité des débats nourris dans les milieux politiques, la population et les médias sur les besoins, les avantages et les potentiels dangers de la future couverture de téléphonie mobile. Le Parlement a rejeté par deux fois, en 2016 et en 2018, à une courte majorité un assouplissement des dispositions en matière de précaution.

Au printemps 2019, la Confédération a attribué de nouvelles fréquences aux trois opérateurs actuels de téléphonie mobile lors d'une mise aux enchères. Ces fréquences sont indispensables au déploiement de la nouvelle technologie de téléphonie mobile 5G et au développement des réseaux existants. L'intention affichée par les opérateurs de déployer rapidement un réseau 5G en Suisse a intensifié les débats en cours sur la forme que devra avoir à l'avenir la couverture de téléphonie mobile et sur les risques que présente le RNI pour la santé.

Mandat

D'une part, le DETEC promeut la numérisation de la société et de l'économie et considère que, pour y parvenir, des réseaux de téléphonie mobile puissants à l'instar de la 5G sont indispensables. D'autre part, il entend continuer à respecter le principe de précaution prévu par la LPE. C'est dans ce contexte que l'ancienne conseillère fédérale Doris Leuthard, alors cheffe du DETEC, a institué le groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement en septembre 2018, en le chargeant de rédiger un rapport présentant des recommandations quant aux étapes futures de la téléphonie mobile, à court et à long terme, en tenant compte des intérêts de protection et d'utilisation. Le groupe de travail a été mandaté d'examiner si les VLInst préventives applicables aux antennes de téléphonie mobile en vigueur respectent encore, en cas de développement de celle-ci, les critères relatifs au principe de précaution ou si des adaptations sont nécessaires. Il n'avait toutefois pas pour tâche de se prononcer sur le déploiement de la 5G en Suisse ou de réaliser des études sur les effets du rayonnement de la téléphonie mobile sur la santé.

Technique et applications de la 5G

Outre des débits de transmission plus élevés et des temps de réaction plus courts, la 5G permet aussi d'augmenter le nombre d'appareils connectés et d'accroître l'efficacité énergétique par unité de données transmises. Elle ouvre la voie à un large éventail de nouvelles applications : elle permet ainsi de piloter à distance et de contrôler en temps réel et sans retard des machines dans la production industrielle ou des véhicules autonomes. Le réseau 5G peut également être découpé en des réseaux partiels virtuels de qualité différente, de sorte que les services d'urgence comme la police, les pompiers, les services de secours et les services de protection contre les catastrophes puissent disposer de réseaux partiels particulièrement performants et d'un haut niveau de disponibilité.

La technologie radio utilisée par la 5G permet des réseaux plus flexibles et plus efficaces que la 4G. Les fréquences disponibles actuellement pour la 5G sont comparables à celles de la 4G et du WLAN, mais des largeurs de bande plus élevées peuvent être employées. Les débits de transmission maximaux de la 5G oscillent à l'heure actuelle entre 2 et 3 gigabits par seconde ; à l'avenir, ils pourraient, avec les ondes millimétriques, dépasser les 20 gigabits par seconde. En outre, les capacités de calcul des stations de base et des terminaux 5G permettent une transmission des données plus performante que jusqu'à présent. De plus, la structure du signal de la 5G est plus flexible que celle de la 4G, si bien que les grandes largeurs de bande et les différentes bandes de fréquences peuvent être utilisées de manière plus efficace. La 5G émet par conséquent cinq fois moins de signaux de contrôle que la 4G, ce qui réduit l'exposition lorsque le trafic de données est faible.

Pour que les signaux puissent être transmis de manière plus ciblée et flexible, de nouvelles technologies d'antennes sont utilisées pour la 5G. Avec les antennes adaptatives, qui sont composées de plusieurs éléments individuellement réglables, le signal peut davantage être focalisé en direction de l'utilisateur, ou plus précisément de son appareil de téléphonie mobile. La formation de faisceaux (« beamforming ») réduit non seulement les perturbations dans la cellule, mais également (pour une même quantité de données transmises) l'exposition moyenne dans la cellule. Toutefois, les personnes qui séjournent dans le champ des faisceaux d'une antenne seront plus exposées à court terme.

Dans un premier temps, la 5G sera principalement mise en place dans la bande de fréquences de 3,5 GHz. Ces fréquences permettent de transmettre de plus grandes quantités de données, mais ont une capacité de propagation plus faible que les gammes de fréquences utilisées actuellement. En effet, elles traversent moins bien les obstacles comme les arbres, les bâtiments, les fenêtres et les véhicules et leurs signaux sont davantage atténus à mesure qu'ils se propagent dans l'air. Ces propriétés négatives peuvent être en partie compensées par l'utilisation d'antennes adaptatives.

Pour la 5G, les fréquences comprises entre 700 MHz et 2,6 GHz, déjà employées actuellement, seront utilisées en plus de la bande à 3,5 GHz. Le recours à des fréquences supérieures à 24 GHz (appelées ondes millimétriques) pourrait faire passer les débits de données maximaux de la 5G à plus de 20 gigabits par seconde. Les ondes millimétriques pour la téléphonie mobile n'ont pour l'heure pas été attribuées. De plus, ces fréquences ne se prêtent pas, pour des raisons physiques, à une couverture de réseau mobile à l'échelle nationale et seraient donc plutôt utilisées dans de petites zones.

Trafic de données et réseaux de téléphonie mobile

Depuis l'introduction du smartphone en 2007, le volume du trafic de données a doublé en Suisse tous les 12 à 18 mois. Selon les prévisions, cette croissance se poursuivra au cours des années à venir. La majeure partie du trafic de données mobiles provient d'applications vidéo utilisées à des fins privées et professionnelles (68 %) ; la tendance à la hausse devrait également se renforcer considérablement dans ce domaine.

D'ici 2024, le volume total de données transmises par voie mobile devrait, selon des estimations, augmenter de plus de 500 % en Europe occidentale, et donc également en Suisse. On suppose qu'un quart du volume total sera transmis par la 5G, ce qui correspond à environ 1,5 fois la quantité totale de données transférées aujourd'hui. Pour ce qui est de l'Internet des objets (« Internet of Things », IoT), soit les appareils connectés entre eux, le nombre de liaisons de transmission de données devrait augmenter d'environ 400 % au cours des cinq prochaines années.

En raison de cette évolution, les réseaux de téléphonie mobile existants doivent continuellement être optimisés. Les réseaux de téléphonie mobile sont divisés en un grand nombre de cellules radio qui se chevauchent en partie. Les macrocellules, dont les antennes à forte puissance d'émission sont souvent installées sur les toits des maisons ou sur les pylônes, assurent la desserte d'une région en termes de couverture et de capacité. Leur rayon de desserte couvre entre 200 m et 2 km. La puissance d'une antenne est réglée de sorte que les signaux à transmettre atteignent les terminaux dans les bâtiments et les véhicules et même ceux en bordure de la cellule, sans toutefois perturber les signaux d'autres cellules. Dans les régions à très grand trafic de données, les macrocellules sont complétées par des petites cellules (notamment des microcellules) afin d'accroître les capacités. Les microcellules, équipées d'antennes de plus faible puissance, couvrent pour leur part un rayon de moins de 200 m à l'extérieur. En outre, des solutions internes aux bâtiments sont appliquées en conditions spéciales (hôpitaux, centres commerciaux, salles de concert, stades, etc.). Ces architectures composées de microcellules et de macrocellules ainsi que de solutions internes aux bâtiments sont qualifiées de « réseaux hybrides » et se sont imposées comme standard en matière de téléphonie mobile dans le monde.

En Suisse, il existe aujourd'hui 12 300 installations de téléphonie mobile (70 % de macrocellules et 30 % de petites cellules). Pour déployer un réseau de téléphonie mobile 5G avec une couverture nationale dans les fréquences disponibles et uniquement avec les cellules radio existantes, la puissance d'émission des 8500 macrocellules devrait pouvoir être augmentée d'un facteur 12,4. S'il est encore possible de réaménager les stations émettrices situées dans les régions rurales, la situation est bien différente dans les régions densément peuplées : la VLInst définie dans l'ORNI, qui limite à titre préventif la puissance d'émission maximale d'une installation de téléphonie mobile, y est dans une large mesure déjà atteinte aujourd'hui. Ainsi, dans les villes et les agglomérations, seuls 2 % des stations existantes peuvent se voir dotées des capacités nécessaires à la 5G. Les réserves dans les régions rurales sont plus importantes, où bien un quart des installations peuvent être étendues à la 5G.

Exposition au RNI

Le corps humain est exposé à des sources de RNI plus ou moins éloignées. Parmi les sources se trouvant à distance du corps humain figurent les stations de base de téléphonie mobile, les antennes de radio et de télévision, les routeurs pour réseaux sans fil et les téléphones portables d'autrui et parmi les sources à proximité du corps, les téléphones mobiles, les téléphones sans fil, les tablettes, les appareils Bluetooth et les ordinateurs portables. Le RNI utilisé est d'une très grande diversité et se distingue par sa fréquence, son intensité, la forme du signal et son profil temporel.

Toutes les parties du corps ne sont pas exposées de la même manière aux appareils se trouvant à proximité. Ainsi, lorsqu'une personne téléphone en collant l'appareil contre son oreille, sa tête subit la plus grande part de la puissance de rayonnement. La technologie utilisée influence également l'exposition. Les nouveaux standards de téléphonie mobile sont nettement plus efficaces que les anciens : l'exposition est sensiblement moindre lors d'un téléphone via la 3G ou la 4G que via la 2G. La qualité de la connexion a également un impact en la matière : plus elle est élevée, soit plus le terminal est proche d'une station de base et moins il y a d'obstacles sur la liaison radio, plus la puissance d'émission requise du téléphone mobile et, partant, l'exposition de l'utilisateur (tête ou autres parties du corps) sont faibles.

Concernant l'exposition au RNI, il n'existe que quelques mesures sur des personnes en Suisse à ce jour. Selon celles-ci, la valeur moyenne d'exposition (tous LUS et durées confondus) à des sources de RNI éloignées du corps se monte à 0,2 V/m

et est restée stable entre 2008 et 2015. Seule l'exposition due aux stations de base de téléphonie mobile a légèrement augmenté durant cette période, restant toutefois à un niveau faible. Elle est d'autant plus importante que la zone est urbanisée ; cependant, les différences entre les habitants des zones rurales, d'une part, et urbaines, d'autre part, sont faibles. Dans les zones urbaines, l'exposition maximale atteinte à court terme en raison de l'utilisation de téléphones portables par des personnes à proximité est quatre fois plus élevée que celle générée par les stations de base. L'exposition moyenne la plus élevée est mesurée dans les transports publics, où de nombreuses personnes utilisent des téléphones portables (0,55 V/m).

La dose de rayonnement totale absorbée en raison de l'utilisation d'un terminal peut, en particulier en cas de mauvaise connexion avec la station de base, être nettement plus élevée que celle générée par la station elle-même. La majeure part du RNI auquel est exposé un utilisateur moyen provient donc des terminaux proches de son corps (env. 90 %).

État des connaissances concernant les effets sur la santé

Le recensement des connaissances concernant les effets du rayonnement de téléphonie mobile sur la santé s'appuie sur le rapport Hug et al. (2014)¹, élaboré pour le rapport sur les réseaux de téléphonie mobile adaptés aux exigences futures² publié par le Conseil fédéral en réponse à deux postulats. Ce rapport a été complété par de nouvelles études sélectionnées dans la newsletter du groupe consultatif d'experts en matière de RNI (BERENIS). D'autres rapports d'évaluation internationaux publiés depuis 2014 ont également été pris en considération. Enfin, le lien entre rayonnement de téléphonie mobile, d'une part, et risque de cancer et autres effets sur la santé, d'autre part, a été évalué selon une classification courante (éléments de preuve suffisants, limités, insuffisants et inexistantes).

Seules quelques rares études ont été menées sur les effets aigus de la technologie 5G sur les cellules et les animaux. L'évaluation des risques réalisée par le groupe de travail s'est donc fondée sur des études menées sur les technologies 2G, 3G et 4G et a porté sur des fréquences dans la même gamme que celles utilisées pour la 5G.

Le groupe de travail constate que, jusqu'à présent, aucun effet sanitaire n'a été prouvé de manière cohérente en dessous des VLI fixées dans l'ORNI pour les fréquences de téléphonie mobile utilisées actuellement ; toutefois, des observations plus ou moins bien étayées ont été réalisées dans les milieux scientifiques et la pratique s'agissant des effets en deçà des VLI. Le groupe de travail devait donc évaluer le niveau de preuve de ces effets à l'aune du principe de précaution.

Le groupe de travail a évalué la preuve de la manière suivante.

- En 2011, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) déclarait que le rayonnement de haute fréquence était potentiellement cancérogène pour l'être humain, se fondant sur des résultats d'études indiquant un risque accru de gliomes et de neurinomes de l'acoustique. Depuis 2014, deux importantes études animales mettant en évidence des effets cancérogènes de l'exposition au RNI sont parues. Les résultats de nouvelles études épidémiologiques sur l'utilisation du téléphone mobile et l'apparition de tumeurs cérébrales ne sont pour l'heure pas homogènes. En outre, des analyses de plusieurs registres du cancer ne font dans l'ensemble pas état d'une augmentation de la morbidité. Dans l'ensemble, les éléments de preuve sont donc toujours jugés limités.
- Il existe encore très peu de travaux sur le lien entre les tumeurs et l'exposition à une station émettrice de téléphonie mobile, de radio ou de télévision. Une étude publiée en 2014 n'a pas établi l'existence d'un lien entre l'exposition à une station émettrice de radio ou de télévision et les cas de cancer infantile diagnostiqués en Suisse entre 1985 et 2008. Pour ce qui est de l'exposition plus faible aux stations émettrices, les éléments de preuve sont jugés insuffisants, comme en 2014.
- Une étude sur des souris publiée en 2015 a confirmé des résultats antérieurs selon lesquels l'exposition simultanée au RNI de haute fréquence et à une substance cancérogène avérée entraînait une croissance tumorale plus rapide que l'exposition à la seule substance cancérogène. Le fait qu'il ait été possible de reproduire cette promotion tumorale pourrait servir d'argument pour faire passer les éléments de preuve de « limités » à « suffisants ». Cependant, l'absence d'une relation exposition-réponse, les limites méthodologiques de l'étude ainsi qu'une absence de confirmation de l'effet promoteur de tumeur constatée dans une étude épidémiologique s'opposent à cette reclasseification. Les éléments de preuve apportés sont donc considérés comme limités.

-
- Pour ce qui est de l'absorption locale, il existe des éléments de preuve suffisants d'effets physiologiques chez l'être humain lorsque le cerveau est exposé à un rayonnement conforme aux valeurs recommandées par l'ICNIRP. Une série d'études expérimentales de qualité menées sur l'être humain ont conclu que l'exposition de la tête au rayonnement d'un téléphone mobile affectait les ondes cérébrales au repos et pendant le sommeil. La qualité du sommeil n'ayant pas été altérée, l'importance de ces effets sur la santé n'est pas claire. Ces études expérimentales ont également mis au jour des effets dépendant de la modulation, suggérant que, outre la puissance du signal, la forme de celui-ci pouvait également avoir un impact. La mesure dans laquelle la caractéristique du signal (modulation, p. ex.) joue un rôle n'a cependant pas encore suffisamment été évaluée.
 - Rares sont les études qui portent sur des personnes dont le corps entier est exposé à la valeur limite définie en la matière par l'ICNIRP, qui correspond à la VLI pour les stations de base de téléphonie mobile. Bien qu'autorisées, ces expositions sont pratiquement inexistantes au quotidien, ce qui rend les études observationnelles difficiles. Dans les études épidémiologiques, les personnes les plus fortement exposées sont tout de même nettement moins exposées que dans cette hypothèse (env. 0,2-1 V/m). Une série de nouvelles études menées aux Pays-Bas et en Suisse n'ont trouvé aucune corrélation entre l'apparition de symptômes et l'exposition au RNI sur le lieu d'habitation, ce qui tend à indiquer qu'il n'y en a simplement pas (éléments de preuve suggérant une absence d'effet). Dans ces expériences (tout comme dans la réalité), la proportion de personnes soumises à des expositions plus élevées que la moyenne est très faible. Ces études ne sont donc pas suffisamment pertinentes pour évaluer les effets à des niveaux d'exposition comparables ou supérieurs à la VLInst (éléments de preuve insuffisants).
 - Dans la pratique médicale, il existe des cas dans lesquels les patients attribuent de manière plausible leurs troubles à l'exposition quotidienne à un RNI élevé. Aucun élément probant n'a toutefois pu être apporté. Même les études randomisées en double aveugle n'ont pu fournir la preuve d'une telle hypersensibilité électromagnétique. Il convient néanmoins de préciser que la majorité des études ont porté sur la perception en cas d'exposition à court terme. Toutefois, on ne peut exclure que les effets ne se manifestent que dans certaines conditions ou situations d'exposition, lesquelles n'ont pas encore été comprises. En raison des difficultés méthodologiques rencontrées dans l'étude de l'hypersensibilité électromagnétique, davantage de recherches doivent être réalisées en la matière.
 - De très nombreuses études cellulaires et animales ont été publiées. Elles montrent souvent l'existence d'effets biologiques, mais leurs résultats ne sont pas homogènes. Aucun schéma cohérent relatif aux relations exposition-effet ou sur la question de savoir quelles cellules seraient particulièrement vulnérables n'a ainsi été trouvé. Ces études n'ont pas été évaluées de manière approfondie par le groupe de travail, car elles font référence à un grand nombre de systèmes biologiques pour lesquels le groupe ne possède pas l'expertise nécessaire. Les éléments de preuve n'ont par conséquent pas été examinés.
 - Il existe déjà des études cellulaires et animales portant sur l'exposition à la gamme de fréquences allant de 30 à 65 GHz (ondes millimétriques). Les résultats ne sont toutefois pas assez solides pour permettre d'évaluer les éléments de preuve.

Les effets sur la santé ne peuvent jamais être exclus sur le plan scientifique avec une certitude absolue. Par conséquent, le groupe de travail a décrit quels effets potentiels nécessitent de plus amples recherches.

Options

Les parties prenantes représentées dans le groupe de travail ont élaboré plusieurs options permettant, selon eux, de développer le réseau de téléphonie mobile suisse. Les opérateurs de téléphonie mobile souhaitent pouvoir offrir une couverture nationale à l'extérieur comme à l'intérieur des bâtiments, jusqu'au sous-sol, conforme au standard IMT-2020 de l'Union internationale des télécommunications (UIT). Le groupe de travail propose de conserver le principe de précaution au vu des incertitudes scientifiques qui subsistent, bien que les avis divergent en ce qui concerne sa concrétisation. Le principe de précaution de la LPE n'est pas pris en compte de la même manière dans les diverses options. Par conséquent, les marges de précaution sont différentes selon les éventuels effets sanitaires à long terme considérés.

Les propositions formulées peuvent être classées en trois groupes (cf. graphique ci-après).

Le premier groupe est composé de l'option visant le statu quo (n° 1), selon laquelle la VLInst fixée dans l'ORNI demeure inchangée. Pour pouvoir garantir un réseau 5G performant, quelque 26 000 stations de téléphonie mobile supplémentaires devraient être construites en Suisse et environ 5000 installations existantes, réaménagées. Les moyens financiers requis se monteraient, selon la branche, à environ 7,9 milliards de francs pour les investissements et à environ 2,1 milliards pour l'exploitation sur cinq ans. Avec ce scénario, le temps nécessaire à l'atteinte d'une desserte en 5G de qualité couvrant toute la Suisse est estimé à entre 20 et 30 ans. L'exposition maximale due aux stations de téléphonie mobile dans les LUS resterait identique avec des antennes conventionnelles et augmenterait avec des antennes adaptatives par rapport à aujourd'hui ; toutefois, le nombre de LUS se trouvant à proximité de telles stations devrait augmenter en raison de la multiplication de celles-ci. L'exposition lors de l'utilisation de téléphones mobiles diminuerait pour tous les utilisateurs en raison de la densification du réseau qui découlerait de cette option (plus le réseau est dense, plus l'exposition est faible lors de l'utilisation des téléphones mobiles, car la distance entre les antennes et les appareils terminaux diminuent et tous deux réduisent leur puissance).

Le second groupe comporte les options prévoyant d'augmenter les performances des stations existantes tout en relevant la VLInst et en procédant à d'autres adaptations dans l'ORNI. Ces options permettraient ainsi de disposer d'un réseau 5G performant sur tout le territoire en quelques années (options 4 et 5) ou en 10 à 20 ans (option 3). Si les options 4 et 5 ne prévoient pas de macrosites supplémentaires, l'option 3 nécessite jusqu'à 7500 nouvelles installations. En outre, presque tous les sites existants devraient être réaménagés. L'option 4 offre de plus la possibilité d'une utilisation conjointe, par plusieurs opérateurs, de 3000 sites. Enfin, l'option 5 verrait une densification avec quelque 2000 petites cellules supplémentaires. Selon les estimations de la branche, il faudrait compter environ 1 milliard (options 4 et 5) ou 3,2 milliards (option 3) de francs pour les investissements correspondants et 300 millions (options 4 et 5) ou 800 millions (option 3) pour l'exploitation sur cinq ans. L'exposition maximale dans les LUS due aux stations de téléphonie mobile doublerait avec l'option 3 et serait multipliée par quatre ou cinq avec les options 4 et 5. En revanche, l'exposition due aux appareils terminaux demeurerait identique.

Dans le troisième groupe se trouve l'option proposant de ne pas modifier la VLInst, mais de fixer des exigences plus strictes dans l'ORNI concernant les petites cellules et les antennes adaptatives. Ces exigences visent à assurer que, à l'avenir, le niveau de protection contre le RNI demeure inchangé et que l'exposition dans les LUS due aux antennes adaptatives ne connaisse pas de hausse à court terme. La construction et l'exploitation de petites cellules doivent être régulées de manière aussi stricte que les antennes des macrocellules afin d'assurer un niveau de protection aussi dans ce domaine. L'introduction de la 5G dans toute la Suisse ne serait possible, avec cette option, qu'avec la construction de 46 500 sites supplémentaires. À l'intérieur des bâtiments, les exigences de la 5G ne pourraient être entièrement remplies, car la desserte et les performances nécessaires ne pourraient être atteintes dans certaines conditions. Les estimations de l'Office fédéral de la communication tablent sur un montant de 13 milliards de francs pour les investissements correspondants et d'environ 3,5 milliards pour l'exploitation sur cinq ans.

Chacune de ces options impliquerait une augmentation considérable de la charge incomptant aux autorités d'exécution, étant donné qu'un grand nombre de nouvelles stations et de nombreuses transformations devraient être autorisées et contrôlées.

Le groupe de travail n'a pas pu se mettre d'accord sur une seule option, ses membres n'accordant pas la même importance aux différents facteurs à prendre en compte. Il ne peut donc formuler de recommandation à ce sujet.

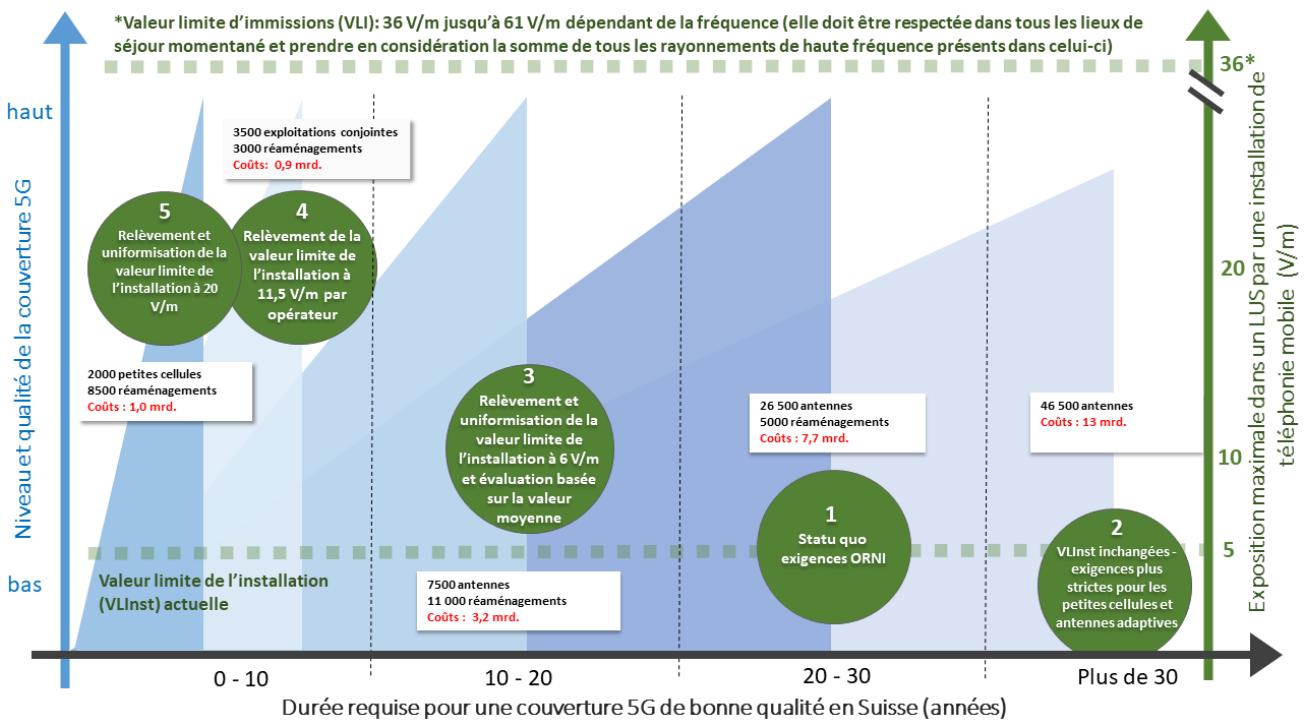


Figure 1 : Évaluation des cinq options selon les critères « impact sur l'exposition », « temps requis pour la mise en œuvre » et « coûts » avec les chiffres de la branche (plus d'informations concernant cette figure au chap. 8).

Approches possibles en vue des développements futurs

Les options montrent comment les réseaux de téléphonie mobile pourraient évoluer ces prochaines années dans le cadre des conditions actuelles ou en adaptant l'ORNI afin d'offrir rapidement une couverture 5G à l'échelle de tout le territoire suisse. En ce qui concerne les évolutions futures, se pose également la question de savoir avec quelle rapidité les gains de capacités rendus possibles par l'implémentation de macrocellules ou un éventuel relèvement de la VLInst seront épousés en raison de l'augmentation croissante du volume de données transmises et quand il sera de nouveau nécessaire d'agir.

Afin que les opérateurs et le législateur ne se posent pas dans quelques années déjà les mêmes questions qu'aujourd'hui, l'Union des villes suisses (UVS) et l'association Médecins en faveur de l'environnement (MfE) ont soumis au groupe de travail des propositions concernant le développement à moyen terme de la téléphonie mobile, dont les premières étapes pourraient être lancées aujourd'hui.

Ces propositions visent principalement la promotion des petites cellules, ainsi que la séparation entre la couverture à l'intérieur des bâtiments et la couverture à l'extérieur sur la base d'une disponibilité suffisante des réseaux de fibre optique. La proposition de l'UVS vise l'introduction de cette couverture dans le cadre d'une coopération plus étroite entre les autorités communales et les opérateurs de téléphonie mobile sous la forme d'un partenariat public-privé (PPP). L'approche présentée par MfE prévoit quant à elle une séparation rigoureuse entre la couverture à l'intérieur des bâtiments et la couverture à l'extérieur par un abaissement de la VLInst à 0,6 V/m. Selon cette proposition, les bâtiments seraient connectés par l'intermédiaire du réseau fixe et, en option, par des microstations supplémentaires. Les propriétaires et locataires décideraient ainsi en toute autonomie si une couverture mobile est nécessaire ou souhaitée dans leurs espaces intérieurs. Le cas échéant, il faudrait utiliser des infrastructures à faible rayonnement et d'une puissance de transmission aussi basse que possible afin de ne pas exposer trop fortement les espaces voisins.

Il est aujourd'hui difficile d'évaluer si et dans quelle mesure ces architectures de réseau seront compatibles avec l'évolution des standards internationaux de la téléphonie mobile. Avec une VLInst fixée à 0,6 V/m (proposition de MfE), les opérateurs sont d'avis qu'il ne serait plus possible d'offrir en Suisse une communication mobile performante.

Mesures d'accompagnement

Le groupe de travail formule les mesures d'accompagnement suivantes :

- Simplification et harmonisation de l'exécution

Afin de simplifier et d'harmoniser l'exécution de l'ORNI en matière d'autorisation et de contrôle des stations de téléphonie mobile, les bases et les processus sur lesquels se fondent les autorisations doivent être adaptés à l'état de la technique actuel.

- Monitoring de l'exposition et des effets sur la santé

Un monitoring doit être mené sur l'exposition de la population au RNI ainsi que sur les effets sanitaires possibles. Un tel monitoring a été commandé par le Conseil fédéral et est actuellement mis sur pied.

- Information et sensibilisation de la population

L'information est importante pour pouvoir rendre le débat plus objectif. Toutefois, il est essentiel qu'elle soit communiquée au public de manière compréhensible. On suppose qu'une information transparente sur les installations de téléphonie mobile permettrait d'accroître l'acceptation de la population à cet égard. Une telle information constituerait un complément judicieux aux données recueillies dans le cadre du monitoring de l'exposition.

- Encouragement de la recherche concernant les effets potentiels de la téléphonie mobile sur la santé

Au regard des incertitudes scientifiques qui demeurent, le groupe de travail estime qu'il est essentiel de poursuivre les travaux de recherche dans ce domaine. Cet encouragement de la recherche déploiera des effets positifs à plusieurs égards : il permettra de combler un manque de connaissances scientifiques dans un domaine politiquement sensible, il fera office de système d'alerte précoce pour les risques sanitaires, il soutiendra – en tant que mesure d'accompagnement et de prévention largement acceptée – le développement des réseaux et les travaux de communication menés par la Confédération et les cantons et, enfin, il sera le garant de la conservation des compétences de recherche suisses dans un secteur technologique en pleine évolution.

- Service de consultation de médecine environnementale sur le RNI

Le groupe de travail recommande également la création d'un service de consultation de médecine environnementale sur le RNI indépendant. Ce service spécialisé interdisciplinaire serait dirigé par des médecins et chargé de mener des investigations de médecine environnementale auprès des personnes qui attribuent des troubles de leur santé au RNI ou à d'autres facteurs environnementaux.

- Crédit de la plateforme d'échange « Téléphonie mobile du futur »

Le groupe de travail encourage l'institution d'une plateforme d'échange entre les autorités fédérales et cantonales, l'industrie des télécommunications, les organisations du monde médical, les associations de protection et les associations d'utilisateurs. Les objectifs d'une telle plateforme sont de proposer un échange mutuel et de mettre à disposition des informations sur les nouvelles technologies et les développements. Le dialogue avec les différents acteurs tel qu'il a été initié dans le groupe de travail doit être poursuivi dans un avenir proche en vue des développements futurs dans le domaine de la téléphonie mobile.

Recommandations

Le groupe de travail formule les recommandations suivantes à l'intention du DETEC :

- se fonder, pour la prise de décisions concernant le développement de la téléphonie mobile en Suisse, sur les faits et prévisions établis aux chapitres 1 à 7,

- prendre acte des propositions formulées au chapitre 8,

- prendre acte des propositions formulées au chapitre 9,

- mettre en œuvre les mesures d'accompagnement visées au chapitre 10,

- clôturer le mandat octroyé le 28 septembre 2018 et dissoudre le groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement.

1 Introduction

1.1 Contexte

Le Conseil fédéral souhaite que la Suisse exploite les possibilités offertes par la numérisation³. S'appuyant sur sa stratégie pour une société de l'information⁴, il a lancé en 2016 la stratégie « Suisse numérique »⁵, avec laquelle il entend tirer pleinement profit des possibilités offertes par la numérisation, en dialogue constant avec l'économie, les milieux scientifiques, le monde de la recherche et la société civile. À ce titre, il conçoit et applique régulièrement des plans d'action. Le Conseil fédéral a adopté le 5 septembre 2018 sa stratégie « Suisse numérique » pour les deux prochaines années. La création de réseaux de transmission ouverts et performants pour une société de l'information concurrentielle en constitue un élément important⁶.

Le développement à venir des réseaux mobiles a suscité des débats nourris dans les milieux politiques, la population et les médias sur les besoins, les avantages et les dangers de la future couverture de téléphonie mobile. Au niveau fédéral, une série d'interventions parlementaires sur ce thème ont été déposées entre l'été 2016 et l'été 2019 (cf. Annexe 2 : Interventions parlementaires). Le Conseil des États a rejeté par deux fois, en 2016 et en 2018, à une courte majorité un assouplissement des dispositions en matière de précaution. Au vu de l'augmentation prévue de la quantité de données à transmettre, le Conseil fédéral était par contre prêt à élaborer, dans les limites de sa marge d'appréciation, des mesures allant dans le sens des deux motions déposées.

Au printemps 2019, la Confédération a attribué une vaste palette de nouvelles fréquences aux trois opérateurs actuels de téléphonie mobile lors d'une mise aux enchères. Ces fréquences sont indispensables au développement de la nouvelle et plus rapide technologie de téléphonie mobile de la cinquième génération (5G). À la suite de ces attributions, les opérateurs ont annoncé leur intention de déployer rapidement un réseau 5G en Suisse, ce qui a encore intensifié les débats en cours sur la forme que devra avoir à l'avenir la couverture de téléphonie mobile.

L'enjeu principal du débat sur la technologie de téléphonie mobile et sur le rayonnement non ionisant qui en résulte est de parvenir à une pesée des intérêts équitable et factuelle entre les objectifs de la loi sur les télécommunications, d'une part, et les objectifs de la loi sur la protection de l'environnement, d'autre part.

Fin septembre 2018, l'ancienne conseillère fédérale Doris Leuthard, alors cheffe du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), a instauré un groupe de travail chargé d'établir un rapport sur les besoins de la téléphonie mobile de demain et les risques en la matière. Le DETEC promeut la numérisation de la société et de l'économie et considère que, pour y parvenir, des réseaux de téléphonie mobile puissants à l'instar de la 5G sont indispensables. Il souligne, cependant, l'importance du principe de précaution inscrit dans la loi sur la protection de l'environnement.

1.2 Objectifs et procédure

Selon le mandat du groupe de travail Téléphonie mobile et rayonnement⁷, le rapport doit permettre de préciser les étapes futures du développement de la téléphonie mobile, à court et à long terme, en tenant compte des intérêts de protection et d'utilisation. L'analyse doit se concentrer sur la future cinquième génération de téléphonie mobile (5G). Le rapport doit examiner en particulier la question de savoir comment la 5G peut être introduite avec succès tout en respectant le principe de précaution destiné à protéger la population. La proposition et l'évaluation de différentes options doivent permettre de formuler des recommandations en la matière.

Le groupe de travail était composé d'experts ainsi que de représentants des opérateurs de téléphonie mobile, du corps médical et des autorités fédérales, cantonales et communales (cf. *Impressum*).

Dans un premier temps, les membres du groupe de travail ont œuvré, avec l'aide d'experts supplémentaires, au sein de trois sous-groupes afin de rassembler les faits.

-
- Sous-groupe 1 : Trafic de données et choix de l'emplacement (développement de la technologie de téléphone mobile, volumes de données, architecture des réseaux, degré d'exploitation des valeurs limites, recherche d'emplacement pour les antennes, exécution).
 - Sous-groupe 2 : Volume de données et exposition (lien entre le volume de données, le rayonnement et l'exposition, exposition de la population et des utilisateurs liée aux stations de bases et aux terminaux dans différentes architectures de réseaux, monitoring RNI).
 - Sous-groupe 3 : Répercussions sur la santé (état actuel de la recherche scientifique et nouvelles connaissances sur les effets du rayonnement de haute fréquence sur l'être humain, exposition et charge réelles actuelles et futures de la population dues aux stations de base et aux terminaux).

Les contenus du rapport destiné au DETEC ont été préparés par un groupe central, qui a chargé les membres du groupe de travail d'établir, sur la base des faits réunis, un catalogue de mesures possibles en vue d'une couverture de téléphonie mobile adaptée aux besoins. Ces mesures ayant été regroupées thématiquement, différentes options ont été déduites, qui prennent chacune en compte les exigences centrales d'un acteur concernant la 5G et permettent d'aborder les enjeux liés à celles-ci. Ces options ont été examinées et évaluées sous divers aspects, notamment les coûts pour les opérateurs et le temps dont ils auront besoin, la modification de l'exposition de la population, la charge administrative pour les autorités et les opérateurs et les effets sur la performance d'un réseau de téléphonie mobile. Finalement, les recommandations élaborées sur la base de ces options ont été soumises au groupe de travail, qui les a discutées puis intégrées au rapport final.

Le groupe de travail s'est réuni en tout six fois entre novembre 2018 et septembre 2019. Les sous-groupes ont été mis en place fin novembre 2018 et se sont réunis entre trois et cinq fois. Ils ont été dissous en juin 2019, après avoir remis leurs rapports thématiques en interne au groupe de travail. Le groupe central s'est réuni quatre fois entre mai et juillet 2019. La composition et les mandats des sous-groupes et du groupe central sont indiqués dans l'Annexe 3 : Mandats et membres du groupe central et des sous-groupes.

Le présent rapport final du groupe de travail rassemble les faits actuels concernant la technologie de téléphonie mobile, le trafic de données mobiles et les architectures de réseau, l'exposition de la population, les répercussions sur la santé et les aspects de la mise en œuvre. Les cinq options (*chap. 8*), les deux propositions de développement futur (*chap. 9*) et les six mesures d'accompagnement (*chap. 10*) à l'intention des autorités de décision politiques ont été formulées par les différentes parties prenantes afin de permettre, dans un proche avenir, une discussion sur une couverture en téléphonie mobile de qualité et de puissance variées qui tient compte des objectifs de protection et d'utilisation.

2 Bases légales

2.1 Domaine des télécommunications

Selon l'art. 92 de la Constitution (Cst.), les télécommunications relèvent de la compétence de la Confédération. La loi sur les télécommunications (LTC)⁸ a pour but d'assurer aux particuliers et aux milieux économiques des services de télécommunication variés, avantageux, de qualité et concurrentiels sur le plan national et international.

Le 6 septembre 2017, le Conseil fédéral a soumis au Parlement un projet de révision de la loi sur les télécommunications, afin de tenir compte des évolutions techniques qu'a connues le domaine des télécommunications – en particulier le fait que les réseaux à larges bandes, fixes et mobiles, permettent d'atteindre des vitesses de transmission de données de plus en plus grandes et que les services Internet fournis par de nouveaux acteurs ont progressivement pris la place des services offerts par les opérateurs traditionnels⁹. Après plusieurs allers-retours pour éliminer les divergences, le Parlement a adopté la révision le 22 mars 2019¹⁰. Le Parlement a pour l'instant rejeté la proposition d'un dégroupage technologiquement neutre du dernier kilomètre ; le Conseil fédéral devra par contre faire un rapport tous les trois ans sur l'évolution dans ce domaine.

Le Conseil fédéral a adopté en septembre 2018 la stratégie « Suisse numérique »¹¹. Elle souligne l'importance que revêt une infrastructure de communication étendue, concurrentielle, fiable et performante. Des architectures de réseau de qualité, performantes et sûres, sont nécessaires au bon fonctionnement de la société et de l'économie à l'ère du numérique. Une infrastructure de réseaux de communication fiable, avantageuse et concurrentielle au niveau international est indispensable au développement de nouveaux modes de vie, de formes de travail, de prestations et de produits.

Conformément aux buts de la loi sur les télécommunications et de la stratégie « Suisse numérique », le cadre général pour le développement de l'infrastructure de communication doit permettre à la Suisse d'occuper une position prééminente au sein de la concurrence internationale. Dans ce contexte, la technologie 5G est un élément important.

L'attribution des fréquences de téléphonie mobile par la Commission fédérale de la communication (ComCom) est assortie de l'obligation d'offrir les services par le biais d'une propre infrastructure de réseaux ; certaines formes de collaboration sont cependant admises. La bande des 3,5 GHz, qui fait partie des fréquences mises aux enchères au printemps 2019, constitue une base déterminante pour l'introduction de la 5G. Dans l'ensemble, le spectre nouvellement attribué ne sert pas exclusivement à introduire la nouvelle génération de téléphonie mobile 5G, mais pourrait tout aussi bien servir de base pour poursuivre le développement des réseaux de téléphonie mobile existants, dans un premier temps aussi dans les bandes de fréquences basses de la quatrième génération de téléphonie mobile LTE. Les droits d'utilisation et les obligations acquis lors de la mise aux enchères des nouvelles bandes de fréquences sont valables jusqu'en avril 2034.

2.2 Domaine de l'environnement

Fondée sur l'art. 74 Cst., la loi sur la protection de l'environnement (LPE)¹² a pour but de protéger les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes contre les atteintes nuisibles ou incommodantes et de conserver durablement les ressources naturelles. De plus, les atteintes qui pourraient devenir nuisibles ou incommodantes seront réduites à titre préventif et assez tôt. Ces prescriptions s'appliquent aussi au rayonnement non ionisant des stations émettrices pour la téléphonie mobile.

Concernant le domaine de la protection contre les immissions (notamment le rayonnement de la téléphonie mobile), le principe de précaution est précisé à l'art. 11, al. 2, LPE. Aux termes de celui-ci, il importe, indépendamment des nuisances existantes, de limiter à titre préventif les émissions dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable. Ce principe de précaution est un principe de base du droit de l'environnement suisse et il est mentionné dans nombre de documents et d'accords internationaux. Il se fonde sur l'idée d'éviter les risques incalculables et de prévoir une marge de sécurité pour tenir compte des incertitudes sur les effets à long terme des nuisances. La limitation des émissions doit viser à cet égard un rapport proportionné entre les mesures de précaution ordonnées et les risques qu'elles permettent d'éviter.

Au-delà des mesures préventives, l'art. 11, al. 3, LPE prévoit que les émissions seront limitées plus sévèrement s'il appert ou s'il y a lieu de présumer que les atteintes, eu égard à la charge actuelle de l'environnement, seront nuisibles ou incommodantes.

Le Conseil fédéral précise le mandat légal par voie d'ordonnance. Le rayonnement des stations émettrices est limité en vertu de l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI)¹³, qui s'appuie sur la LPE. L'ORNI contient des valeurs limites d'immissions (VLI) qui visent à protéger les personnes contre les dangers scientifiquement prouvés et acceptés liés au rayonnement. Les VLI doivent répondre à l'état de la recherche ou à l'état de l'expérience. Elles doivent aussi protéger les groupes de personnes sensibles contre les risques pour la santé et être fixées de façon à ce que le bien-être de la population ne soit pas sensiblement affecté. Les VLI adoptées dans l'ORNI sont les valeurs indicatives recommandées en 1998 par la Commission internationale pour la protection contre le rayonnement non ionisant (ICNIRP)¹⁴, qui protègent contre les effets thermiques. Elles s'appliquent partout où des personnes peuvent séjourner. Les VLI ne prennent pas en compte les effets biologiques (dits non thermiques) dans le domaine des faibles doses et les conséquences à long terme scientifiquement prouvées.

En plus des VLI, l'ORNI fixe des valeurs limites de l'installation (VLInst), qui concrétisent le principe de précaution de la LPE. Dans les lieux où des personnes séjournent régulièrement pendant une période prolongée, la valeur efficace de l'intensité du champ électrique d'une installation de téléphonie mobile ne peut dépasser un dixième de la VLI. Sont notamment considérés comme « lieux à utilisation sensible » (LUS) les habitations, les écoles, les hôpitaux, les postes de travail permanents ou les places de jeux définies dans un plan d'aménagement.

Pour modifier ou assouplir l'actuelle limitation préventive des émissions, il faudrait pouvoir prouver que l'état de la technique ou les conditions d'exploitation ne permettent plus de respecter les VLInst en vigueur ou que cela n'est économiquement plus supportable.

Les pays voisins de la Suisse, la plupart des pays de l'Union européenne et les États-Unis s'orientent seulement sur la VLI internationalement reconnue et n'appliquent pas, en plus, une VLInst plus basse¹⁵. Sur le plan international, l'idée de la précaution est souvent mise en œuvre à l'aide d'autres dispositifs et mesures comme le monitoring des risques, l'information et la recherche.

2.3 Autres domaines juridiques

Les exigences que doit remplir la construction de stations émettrices pour la téléphonie mobile en vertu d'autres législations (droit de l'aménagement du territoire et de la construction, droit en matière de nature et de paysage, droit forestier) sont résumées dans la publication « Téléphonie mobile : guide à l'intention des communes et des villes »¹⁶. Dans ce contexte, il convient également de mentionner les « Recommandations téléphonie mobile » de la Conférence suisse des directeurs cantonaux des travaux publics, de l'aménagement du territoire et de l'environnement (DTAP)¹⁷.

En plus des antennes émettrices des stations de base, les téléphones portables et les autres terminaux de télécommunication émettent aussi un rayonnement non ionisant dans l'environnement. Sa limitation ne relève cependant pas du droit suisse sur la protection de l'environnement mais du droit sur la sécurité des produits. En ce qui concerne l'intensité du rayonnement, ce sont les mêmes exigences que celles de l'Union européenne qui s'appliquent, c'est-à-dire que les fabricants des appareils doivent s'assurer que ceux-ci ne présentent pas un risque pour la santé des utilisateurs selon l'état actuel des connaissances et de la technique. À cet effet, ils doivent respecter les valeurs limites fixées dans la recommandation correspondante du Conseil européen.

3 Technologie de téléphonie mobile

3.1 Les réseaux mobiles en Suisse

En Suisse, les réseaux mobiles commerciaux sont exploités par trois entreprises (Swisscom, Sunrise et Salt) et fonctionnent avec les normes GSM, UMTS et LTE, qui correspondent aux différentes générations de la technologie de téléphonie mobile (2G, 3G et 4G). Toutes les concessions de téléphonie mobile sont formulées de façon technologiquement neutre, ce qui signifie que les opérateurs sont libres de choisir quelle technologie ils souhaitent utiliser dans quelle bande de fréquences.

À côté des réseaux commerciaux, il existe deux autres réseaux nationaux de radiocommunication (mobile) : le réseau GSM-Rail (ou GSM-R), utilisé par les Chemins de fer fédéraux (CFF) pour l'exploitation ferroviaire (p. ex. la signalisation en cabine), et Polycom, le réseau national des autorités et des organisations chargées du sauvetage et de la sécurité (AOSS). Basé sur la norme Tetrapol, ce dernier permet le contact radio entre les différentes organisations partenaires : gardes-frontières, police, sapeurs-pompiers, premiers secours, protection civile et formations d'appui de l'armée.

Les trois réseaux commerciaux ont obtenu de très bons résultats aux tests de qualité (« excellent », « très bon ») et sont les meilleurs d'Europe. Lors d'une comparaison effectuée entre 87 pays du monde entier, la Suisse est arrivée dans le groupe des dix premiers dans quatre des cinq catégories analysées. Le réseau radio de sécurité Polycom et le réseau GSM-Rail doivent posséder un très haut niveau de sécurité et de disponibilité.

La technologie de téléphonie mobile ne cesse de se développer, comme l'illustre l'introduction en cours de la cinquième génération (5G). Si la 5G est déployée par les trois opérateurs commerciaux de téléphonie mobile, elle influencera aussi le réseau mobile des chemins de fer et le réseau radio de sécurité. La nouvelle technologie prévue pour le GSM-Rail s'appuiera donc probablement aussi sur la 5G.

3.2 Introduction de la 5G

3.2.1 Technique et applications de la 5G

La 5G est la nouvelle norme internationale de téléphonie mobile¹⁸. Ses caractéristiques ont été établies par l'Union internationale des télécommunications (UIT, une agence de l'ONU) et précisées dans les spécifications relatives aux télécommunications mobiles internationales 2020 (IMT-2020) (cf. Tableau 1). Développée par l'Institut européen des normes de télécommunication (ETSI) dans le cadre du projet Third Generation Partnership Project (3GPP), la 5G sera acceptée comme standard mondial par l'UIT.

Tableau 1 : Exigences applicables à la 5G et différences par rapport à la 4G¹⁹

Exigences applicables à la 5G	Définitions entre la 5G et la 4G
<ul style="list-style-type: none"> • Grande largeur de bande : >10 GBit/s Peak²⁰ • Latence courte : 1-4 ms Air Interface • Haut niveau de sécurité et de disponibilité : 99,999 % • Très haute densité d'appareils (pour IoT) • Longue durée de vie de la batterie (pour IoT) : >10 ans • Autonomie électrique des appareils IoT connectés : >10 ans 	<ul style="list-style-type: none"> • Le débit de transmission des données est 100 fois supérieur. • Le temps de réaction (latence) est 30 à 50 fois plus court. • Utilisation de 100 fois plus de terminaux (un million d'objets par km²) • L'autonomie électrique est 10 fois plus élevée.

Outre des débits de transmission plus élevés et des temps de réaction plus courts, la 5G permet aussi d'augmenter le nombre d'appareils connectés et d'accroître l'efficacité énergétique par unité de données transmises. En plus de ces aspects quantitatifs fixés dans l'IMT-2020, elle permet des évolutions qualitatives qui n'étaient pas encore possibles, ou qui ne l'étaient que de façon limitée. Comparée aux générations de téléphonie mobile existantes, la 5G ouvre la voie à un large éventail de développements et de nouvelles applications.

- La 5G améliorera la gestion et l'exploitation de l'infrastructure dans les domaines de la ville intelligente (smart-city) et de la maison intelligente (smart-home) (gestion du trafic, contrôle de l'énergie, etc.).
- La 5G permettra des améliorations au service de l'Internet des objets (IoT) et des réseaux à très haut niveau de disponibilité. À cet effet, le réseau mobile deviendra plus flexible.
- L'« edge computing », à savoir l'informatique en périphérie, permettra des services informatiques et des services de stockage proches du client. Il sera ainsi possible d'améliorer la performance et de remplir les exigences en matière de sécurité des données, ce qui est indispensable en particulier pour les infrastructures critiques ou les entreprises industrielles.
- Les entreprises pourront accroître l'efficacité de leurs processus de production et de leur logistique en utilisant directement des réseaux mobiles dans leurs processus de création de valeur. La 5G pouvant desservir un nombre d'appareils par cellule radio 100 fois plus élevé qu'aujourd'hui, elle permettra de répondre au développement attendu de l'Internet des objets.
- Le réseau pourra être découpé en plusieurs sous-réseaux virtuels (« networkslicing », architecture en tranches) pour satisfaire aux demandes spécifiques des clients. Cela permettra de mettre des réseaux partiels, basés sur le réseau mobile public et jouissant d'un haut niveau de disponibilité, à la disposition de certains organismes comme les services d'urgence, les chemins de fer ou d'autres entreprises et organisations.
- Les appareils à proximité pourront communiquer directement. Cette communication « device-to-device » (D2D) n'est pas encore intégrée dans la standardisation en cours de la 5G, mais devrait l'être ultérieurement. La 5G permettra également une communication directe entre des véhicules ; ceux-ci ne communiqueront pas seulement entre eux, mais aussi avec l'infrastructure, le réseau et Internet.
- Les temps de réaction inférieurs à quelques millisecondes permettront de piloter à distance et de contrôler en temps réel et sans retard des appareils, des machines et des installations, par exemple des modes de transport autonomes (véhicules et drones), des machines de production et des robots industriels.
- La 5G permettra des représentations virtuelles et augmentées de la réalité en temps réel, plus rapides et plus réalistes.

Selon une étude commandée par le secteur de la télécommunication mobile afin de quantifier les effets économiques de la 5G en Suisse²¹, cette technologie créera près de 137 000 nouveaux emplois d'ici à 2030 et générera une valeur brute supplémentaire d'un montant de 42,4 milliards de francs. Cette croissance de la production sera avant tout le fait d'entreprises présentes hors du secteur des télécommunications et utilisatrices de la technologie, par exemple dans l'industrie productrice, l'administration publique, le commerce de gros et de détail, les banques et les assurances ainsi que le secteur des transports.

Les nouvelles propriétés de la 5G ne sont pas dues en premier lieu à la technologie radio. Contrairement à la 4G, la 5G est « software-defined », c'est-à-dire que le réseau de téléphonie mobile peut être adapté aux exigences et donc devenir plus rapide et plus efficace. La performance accrue de la 5G est également le résultat de meilleurs ordinateurs dans les appareils émetteurs et récepteurs, ce qui permet un saut qualitatif et quantitatif par rapport à la 4G.

Pour ce qui est de la technologie radio des antennes et du rayonnement de ces dernières, la 5G est comparable aux fréquences de la 4G actuellement disponibles, avec la même technique de modulation. Elle diffère par contre par la largeur de bande disponible, autrement dit le volume de données pouvant être transmis en même temps et donc par la puissance émettrice, plus élevée, et par la situation d'exposition, qui peut changer plus rapidement et plus fortement. Le transfert de ces bandes plus larges exige des fréquences plus élevées. Par ailleurs, la capacité de calcul disponible tant

dans l'architecture du réseau des stations de base que dans les terminaux mobiles permet de traiter l'information transmise de façon plus performante qu'avec la 4G.

Pour atteindre les objectifs de la 5G, des modifications de la technologie radio sont également nécessaires. Il faut par exemple adapter la structure des signaux électriques, appelée interface aérienne. Il s'agit ici d'une amélioration de l'interface aérienne de la technologie précédente LTE (4G). L'interface aérienne pour la 5G est appelée « New radio ». La structure de signal a dû être optimisée pour pouvoir utiliser plus efficacement les plus grandes largeurs de bande (jusqu'à 800 MHz) et les différentes bandes de fréquences²². La 5G émettra par conséquent nettement moins de signaux de contrôle que la 4G. Ces adaptations de la structure du signal permettront non seulement de diminuer les perturbations et donc d'améliorer la qualité de la transmission, mais aussi de réduire l'exposition moyenne dans la cellule radio non utilisée. Les largeurs de bande utilisées dans un réseau 5G peuvent être réglées de façon plus flexible par rapport à la 4G, afin d'exploiter la 5G aussi bien dans les bandes de fréquences plus basses et plus élevées. La coexistence de la 4G et de la 5G à l'intérieur de la même bande de fréquences sera aussi possible. La 5G permettra en outre d'utiliser des capacités supplémentaires via les fonctions WLAN. L'avantage est de pouvoir disposer globalement de toutes les applications avec une seule technologie, ce qui favorise les innovations et réduit les coûts.

La largeur de bande est aussi flexible au niveau du terminal. Un appareil de téléphonie mobile ne doit pas forcément utiliser toute la largeur de bande proposée par la station de base, mais fonctionne avec seulement une partie de celle-ci. Il peut ainsi économiser de l'électricité, ce qui explique la longue durée de vie de la batterie des capteurs.

Dans un premier temps, la 5G sera principalement mise en place dans la bande de fréquences de 3,5 GHz, car cela permet des largeurs de bande plus élevées par rapport aux fréquences traditionnelles. À elle seule, cette largeur de bande peut théoriquement permettre d'atteindre des débits de données d'environ 2,5 Gbit/s. La technologie peut cependant être déployée dans toutes les fréquences de téléphonie mobile. La 5G permet aussi d'utiliser des ondes millimétriques dans les bandes à partir de 24 GHz. Le déploiement de ce type d'ondes en Suisse n'est cependant pour l'instant pas encore prévu par les opérateurs. L'utilisation de ces bandes de fréquences suppose en outre que le Conseil fédéral modifie le Plan national d'attribution des fréquences (PNAF) (cf. *chap. 3.2.3*) ; la ComCom et l'OFCOM devraient initier une procédure d'attribution.

On trouvera un aperçu de l'évolution de la 5G à l'étranger sur les pages de l'observatoire de la 5G de l'Union européenne²³.

3.2.2 Nouvelles technologies d'antenne

D'un point de vue technique, les fréquences autour de 3,5 GHz peuvent transporter plus de largeur de bande, mais elles ont une capacité de propagation plus faible que les gammes de fréquences utilisées actuellement (entre 800 MHz et 2,6 GHz), car leurs signaux sont davantage atténués à mesure qu'ils se propagent dans l'air ou dans l'enveloppe des bâtiments. Pour compenser ces propriétés négatives, il est possible d'utiliser des antennes composées de plusieurs éléments d'antenne individuellement réglables qui focalisent le signal en direction de l'utilisateur, c'est-à-dire de l'appareil de téléphonie mobile (« beamforming », formation de faisceaux) ; ces antennes sont appelées des antennes adaptatives.

Lorsque la technique de transmission utilise des antennes composées de plusieurs antennes émettrices et réceptrices ou de plusieurs éléments d'antenne, on parle de MIMO²⁴ (Multiple Input Multiple Output) ou de MIMO massif lorsque le nombre d'antennes émettrices est très élevé ; cette technique de transmission est également prévue pour la 5G. La puissance d'émission est répartie entre toutes les antennes émettrices et le signal à transmettre est émis par tous les éléments d'antenne et aussi reçu par plusieurs éléments d'antenne, ce qui permet d'améliorer la qualité de réception et d'accroître la portée ainsi que le débit de transmission de données possible²⁵.

La formation de faisceaux (« beamforming ») permet de diriger l'émission de l'information vers l'utilisateur situé dans la cellule radio, ce qui accroît la complexité et la dynamique des signaux émis. Les signaux sont envoyés en priorité là où on en a besoin. Dans la mesure où la puissance n'est, dans l'ensemble, pas sensiblement augmentée et où l'utilisation ne change pas de façon déterminante, cela permet de réduire les interférences par rapport aux technologies antérieures. Les premières modélisations mathématiques²⁶ et les mesures effectuées sur les installations²⁷ montrent que, dans la

plupart des cas, les émissions avec la technologie du « beamforming » sont nettement inférieures à la puissance d'émission maximale théorique (cf. *chap. 5.4.5*). Lorsque la charge de trafic est élevée, la puissance d'émission ne dépasse jamais le quart et, dans certains scénarios, un huitième de la puissance maximale théorique. Puisque le trafic de données mobiles ne rayonne plus dans toute la cellule radio, comme c'est le cas pour les signaux de contrôle, mais qu'il est tendanciellement dirigé vers l'utilisateur, le « beamforming » permet de réduire l'exposition surfacique et temporelle moyenne.

3.2.3 Perspectives concernant le besoin d'utilisation des ondes millimétriques pour la téléphonie mobile

La téléphonie mobile évoluant très rapidement, il n'est pas facile d'estimer la future importance qu'aura l'utilisation des ondes millimétriques dans ce domaine. Cette importance dépend du potentiel spécifique et des innovations en général.

La 5G est introduite actuellement en Suisse avec des fréquences au-dessous de 6 GHz. Dans cette gamme, elle ne peut pas atteindre toute sa puissance (c.-à-d. au moins 10 GBit/s pour la liaison descendante), car la largeur de bande de fréquences est insuffisante. En Suisse, la 5G ne sera actuellement pas utilisée dans la gamme des ondes millimétriques. Ces fréquences, plus élevées, permettraient d'atteindre à l'avenir des pics de débit de données de plus de 20 GBit/s, mais leurs propriétés de propagation sont encore moins bonnes (enveloppe du bâtiment, vitrage revêtu d'une couche métallique, personnes, feuillage, pluie, etc.) ; selon la fréquence, la transmission ne peut être satisfaisante que sur quelques mètres. De plus, ces fréquences ont besoin dans la plupart des cas d'une liaison en visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur, ce qui est faisable, par exemple, pour les spectateurs d'un match dans un stade, mais non entre une antenne extérieure et l'IoT et d'autres terminaux dans un bâtiment.

La Conférence mondiale des radiocommunications (World Radio Conference), qui s'est tenue en automne 2019, a été l'occasion d'identifier dans le monde entier des bandes de fréquences dans la gamme des ondes millimétriques pour la communication mobile. En Suisse, l'utilisation de ces bandes de fréquences doit être décidée par le Conseil fédéral dans le cadre de l'approbation du Plan national des fréquences (PNAF). Sur la base de cette décision, la ComCom peut examiner la demande existante sur le marché et attribuer au besoin les fréquences concernées (p. ex. au moyen d'une mise aux enchères). Aux États-Unis et en Asie, les ondes millimétriques sont utilisées pour la couverture à large bande de bâtiments. Avec ses réseaux FTTH (fiber to the home) et ses réseaux hybrides composés de fibre optique et de câbles coaxiaux (de Swisscom, d'UPC et d'autres fournisseurs), la Suisse présente une situation de départ différente, mais l'utilisation des ondes millimétriques pour la couverture à large bande de bâtiments devra être examinée pour les régions en proie au mitage. Avant d'attribuer ces fréquences à des opérateurs de téléphonie mobile, la ComCom et l'OFCOM devraient évaluer les besoins (de façon analogue aux enquêtes menées en amont de la mise aux enchères des fréquences actuellement utilisées) afin de déterminer dans quelle mesure il existe en Suisse un réel besoin d'utiliser des ondes millimétriques pour la couverture à large bande. Les ondes millimétriques pourraient aussi être utilisées en Suisse pour la couverture haut débit de bâtiments isolés, l'augmentation de la capacité d'approvisionnement dans des petites zones à utilisation élevée (gare principale, centre commercial, stade) ou un réseau campus sur un site industriel.

4 Faits et prévisions

4.1 Volumes de données

4.1.1 Prévisions en ce qui concerne l'évolution des données

Avec l'introduction du smartphone, l'utilisation de l'Internet mobile a augmenté de façon exponentielle. En Suisse, ces dernières années, le volume du trafic de données a doublé tous les 12 à 18 mois²⁸. Les prévisions suivantes montrent comment cette croissance se poursuivra au cours des années à venir. Les données et prévisions mentionnées ci-après sont basées sur le rapport Ericsson sur la mobilité (*Ericsson Mobility Report*) de novembre 2018.²⁹

La Figure 2 montre l'augmentation prévue des données transmises par la technologie 5G et les technologies plus anciennes. On constatera que le volume de données transmises avec la technologie 5G augmentera relativement lentement, l'introduction d'une nouvelle technologie prenant toujours un certain temps.

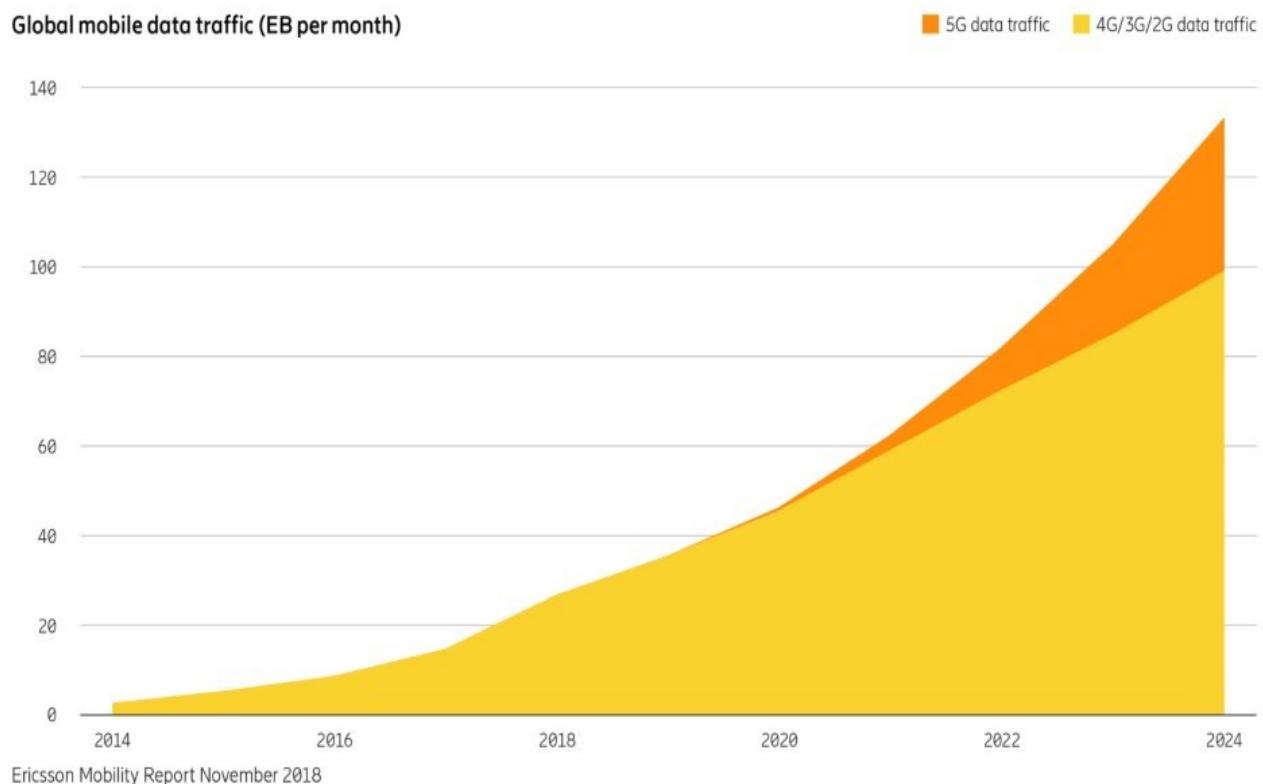


Figure 2 : Prévisions de développement pour le volume mondial de données transmis par la technologie 5G et les technologies plus anciennes (4G, 3G et 2G) [EB per month : exabytes (10^{18}) par mois]

La majeure partie du trafic de données mobiles (également au plan international) est due aux utilisations vidéo (env. deux tiers), domaine dans lequel une forte augmentation est encore prévue (cf. 4.2.1).

Dans le domaine de l'Internet des objets (« Internet of Things », IoT), le nombre de liaisons de transmission de données devrait augmenter d'environ 400 % au cours des cinq prochaines années.

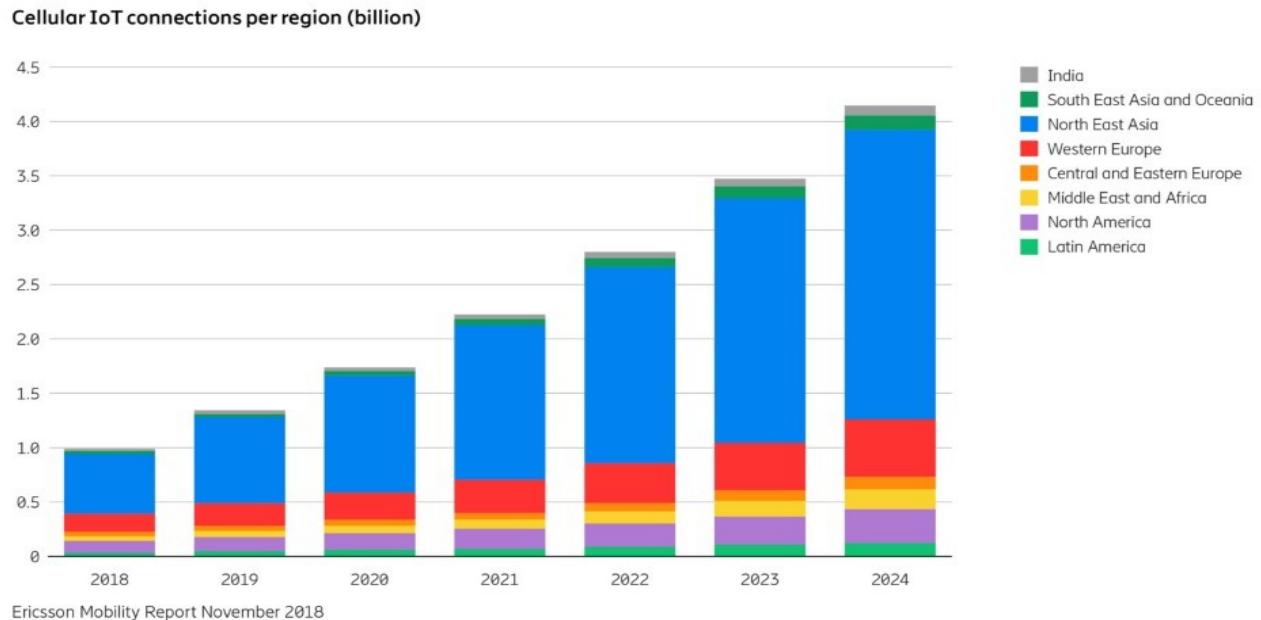


Figure 3 : Prévisions relatives au développement des connexions de l'IoT dans les grandes régions du monde [billion : milliards].

Selon ces prévisions, le volume total de données transmises par voie mobile en Europe occidentale augmentera d'un facteur supérieur à 5 (524 %) d'ici 2024 par rapport à 2018. On suppose qu'en 2024, un quart du volume total sera transmis par la 5G, ce qui correspond à lui seul à environ 1,3 fois la quantité totale de données transmises aujourd'hui.

4.1.2 Prévisions pour la Suisse

En principe, les développements décrits dans le rapport Ericsson sur la mobilité sont également prévisibles en Suisse. On s'attend à une nouvelle forte augmentation du volume de données sur le réseau 4G au cours des deux à cinq prochaines années, même après l'introduction de la 5G. Concrètement, cela signifie que les réseaux de téléphonie mobile devront déjà être étendus rien que pour la seule technologie 4G. Bien que certaines des futures applications IoT nécessitant des connexions mobiles (p. ex. les capteurs d'aide au stationnement, les capteurs de niveau) ne communiquent que rarement et n'exigent donc qu'un faible volume de données, on doit s'attendre à un accroissement global de volume en raison de la multiplicité et de la diversité des applications.

En Suisse, les trois opérateurs (Swisscom, Sunrise, Salt) déclarent que la répartition de leurs données dans les catégories d'application est similaire à celle figurant dans le rapport Ericsson sur la mobilité (cf. Figure 4). Les utilisations vidéo représentent la plus grande part du volume total de données, soit environ 60 %. Les opérateurs, tout comme Ericsson, s'attendent à ce que cette part continue de croître fortement dans les années à venir, car les transmissions d'images augmenteront dans de nombreux domaines, tels que le divertissement, la production, l'éducation, les vidéoconférences, la surveillance, la médecine, la réalité virtuelle et augmentée.

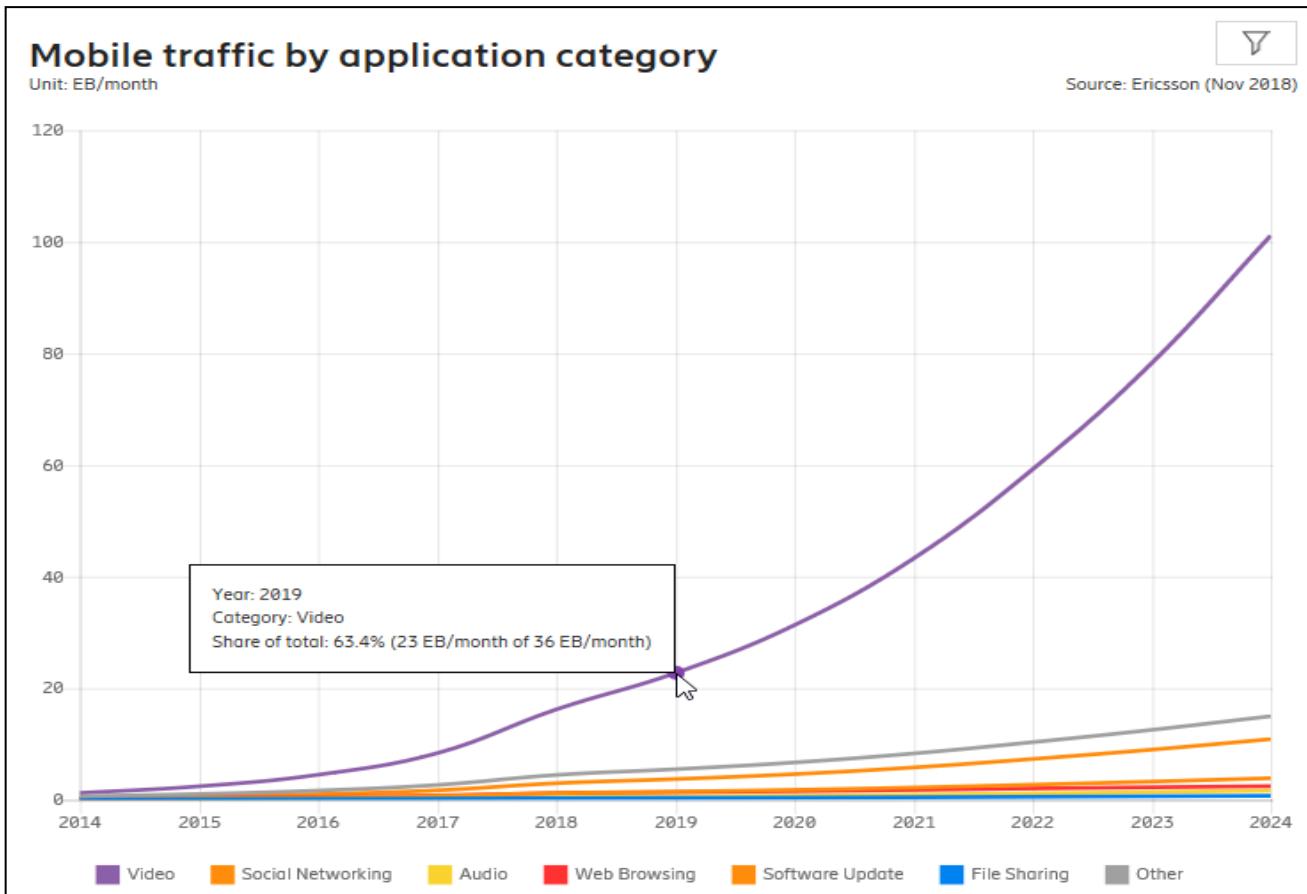


Figure 4 : Augmentation prévue du trafic de données par domaine d'utilisation

Les opérateurs s'attendent à ce qu'un peu moins de la moitié des données soient transmises en zone urbaine, un peu moins d'un tiers en zone suburbaine et environ un quart en zone rurale.

Le Tableau 2 présente les parts des puissances d'émission et des volumes de données concernant la Suisse selon les générations de technologies de téléphonie mobile en 2018.

Tableau 2 : Parts des puissances d'émission (y compris la téléphonie vocale) et des volumes de données 2018

Technologie	Puissance d'émission	Volume de données
2G	5 %	<1 %
3G	25 %	5 %
4G	70 %	95 %

En Suisse, au cours des cinq dernières années, la 4G a de loin absorbé la plus grande partie du volume de données et transmet aujourd'hui 95 % de toutes les données.

En 2018, le volume des données transmises par la 2G était nettement inférieur à 1 % du volume total des données. La part du volume transmis par la 3G a diminué au cours des six dernières années, passant de 95 à 5 %. Bien que la 2G et la 3G ne transmettent pratiquement plus de volume de données aujourd'hui, la moitié à trois quarts des appels mobiles sont encore effectués à l'aide de ces deux technologies et de nombreuses applications de machine à machine (M2M).

fonctionnant avec des modems 2G et 3G existent toujours. En outre, une grande partie des réserves de puissance potentielles liées à la 2G ont déjà été utilisées pour étendre la 4G. Tous les opérateurs ont retiré la 2G de la majorité de leurs bandes de fréquences. D'ailleurs, la 2G peut être fournie grâce à une solution logicielle spéciale de sorte que les puissances émettrices peuvent déjà être utilisées aujourd'hui pour le développement de la 4G et de la 5G. Certains opérateurs prévoient d'arrêter la 2G dès 2020, cette technologie devenant de moins en moins importante.

4.2 Architecture des réseaux

4.2.1 Réseau actuel

Les réseaux mobiles sont des réseaux cellulaires. La zone de desserte de tels réseaux est divisée en un grand nombre de cellules radio qui se chevauchent en partie et qui sont de taille limitée, chacune étant alimentée par une station de base.

Un réseau de téléphonie mobile doit être en mesure de desservir les utilisateurs mobiles de façon ininterrompue. Chaque antenne ne peut transmettre simultanément qu'une quantité limitée de données. Les zones desservies par une station de base varient en taille. La taille de la cellule dépend du nombre prévu d'utilisateurs, du volume de données attendu et de la topographie. Ainsi, le diamètre d'une cellule peut atteindre quelques kilomètres dans les zones rurales et être inférieur à 100 mètres dans les villes. La majorité des émetteurs est installée dans les villes et les communes densément peuplées, les services mobiles y étant utilisés par un grand nombre de personnes et d'appareils. L'organisation des cellules en différents niveaux (macrocellules, microcellules et cellules *indoor*) offre un potentiel supplémentaire d'augmentation des capacités de transmission. Les architectures de réseaux hybrides composées de différents niveaux de cellules correspondent aujourd'hui à l'état de la technique, reconnu aux niveaux national et international. Elles sont également mises en œuvre par les opérateurs suisses.

Dans la réglementation suisse relative à l'exécution (ORNI et recommandations d'exécution de l'OFEV), on fait une distinction entre les installations qui émettent jusqu'à 6 watts (W) ERP au maximum et celles qui fonctionnent à une puissance d'émission supérieure. Les installations inférieures à 6 W ERP sont exclues du champ d'application des limitations préventives des émissions de l'ORNI. En règle générale, ces petites installations sont autorisées par les cantons et les communes dans le cadre d'une procédure simplifiée, pour laquelle la notification aux autorités d'exécution est suffisante. Dans le langage courant, ces installations sont appelées microcellules. Il convient de noter que, au plan international, ce terme n'a pas le même sens. Dans le contexte international, les microcellules désignent en effet des stations émettrices pouvant atteindre plusieurs centaines de watts ERP servant à augmenter la capacité locale. L'utilisation de préfixes tels que macro ou micro n'est donc pertinente que dans le cadre réglementaire respectif et n'a pas de valeur universelle.

La qualité de la desserte en téléphonie mobile d'une zone géographique donnée est définie par la couverture et la capacité, et, dans le cas de la 5G, aussi par la haute disponibilité (redondance) et le faible temps de latence. En conséquence, les exigences posées à la qualité des réseaux de téléphonie mobile ne cessent d'augmenter. La couverture signifie qu'une liaison de téléphonie mobile est en principe possible. La capacité va plus loin et indique le débit disponible, autrement dit le volume de données qui peut être transmis par seconde. La redondance fait référence au chevauchement de plusieurs cellules permettant d'assurer un fonctionnement ininterrompu en cas de panne. La couverture est indépendante du nombre d'utilisateurs simultanés. En revanche, les capacités disponibles dans une cellule doivent être partagées par tous les utilisateurs actifs simultanément. La redondance devient de plus en plus importante, car, dans de nombreux cas, une option d'appel d'urgence n'est possible que par le biais de la téléphonie mobile ; d'ailleurs des services d'urgence utilisent aujourd'hui déjà des services de téléphonie mobile et le feront de plus en plus à l'avenir. De faibles temps de latence sont nécessaires à la communication mobile dans des domaines critiques tels que l'automatisation industrielle avec contrôle en temps réel.

Les macrocellules avec antennes sur les bâtiments, les tours ou les élévations de terrain servent essentiellement à la desserte d'une région en termes de couverture et de capacité. Elles sont également importantes pour les utilisateurs qui se déplacent rapidement d'un endroit à l'autre. Les microcellules sont principalement utilisées là où existent de grands flux de données ; il s'agit notamment des places très fréquentées ou des espaces intérieurs de grands bâtiments de forte fréquentation, comme les gares, les centres commerciaux ou les stades. Enfin, pour la mise à disposition de capacités

correspondantes à l'intérieur des bâtiments, on a recours à des picocellules et des femtocellules. Les microcellules peuvent également compléter le réseau mobile dans les endroits où les conditions géographiques locales empêchent la réception de la macrocellule.

Tableau 3 : Types de cellules

Type de cellules	Rayon de desserte	Type de desserte
Macrocellule	Jusqu'à 5 km (typiquement 1 à 2 km)	À grande échelle, en dehors et à l'intérieur des bâtiments ainsi que pour les déplacements (train, auto, bus, etc.) (Dans les villes suisses, des rayons de desserte de 300 à 500 m sont déjà la règle aujourd'hui.)
Microcellule*	50 à 200 m (typiquement 100 m)	Dans les régions à grand trafic, en dehors et à l'intérieur des bâtiments
Picocellule*, Femtocellule*	Inférieur à 100 m (typiquement inférieur à 50 m)	Généralement à l'intérieur des bâtiments, souvent avec peu d'utilisateurs

* Ces types constituent les petites cellules dont il est question dans le présent rapport.

4.2.2 Compétences en matière de planification liée à la téléphonie mobile

Selon l'art. 92 de la Constitution, la réglementation des télécommunications relève de la compétence de la Confédération. La Confédération elle-même n'exploite plus de réseaux publics de télécommunications. Les services de communication mobile sont fournis par des particuliers titulaires d'une concession délivrée par la Confédération. En Suisse, la concurrence et l'orientation marché font que les services de télécommunication sont de haute qualité et que les besoins des clients sont satisfaits au mieux. L'exploitation d'un réseau national de téléphonie mobile nécessite une concession octroyée par la ComCom. Dans les concessions, la ComCom fixe des exigences minimales en matière de desserte afin de garantir que les fréquences soient effectivement utilisées. Les concessions octroyées début 2019 obligent les opérateurs à mettre les nouvelles fréquences, d'ici 2024, à la disposition de la moitié de la population suisse. Les concessions n'imposent aucune condition pour l'aménagement concret des réseaux de téléphonie mobile, ni sur l'infrastructure technique à utiliser (concessions technologiquement neutres). Dans le cadre défini, les titulaires de concessions de téléphonie mobile sont libres de déterminer où et avec quelles fréquences et technologies ils souhaitent couvrir une zone donnée. La qualité de la desserte (couverture, capacité, vitesse, latence, disponibilité, etc.) et son type (mobile, extérieur, intérieur, etc.) relèvent également de leur seule compétence. Cela signifie qu'il existe une concurrence entre les opérateurs de téléphonie mobile en matière de construction des infrastructures ainsi que de services et de prix. Toutefois, cette concurrence aboutit également à l'émergence de trois réseaux mobiles qui, au final, se superposent presque totalement.

Conformément à la LTC et en l'absence de dispositions correspondantes dans les concessions de téléphonie mobile octroyées, la définition de la qualité de la desserte et le choix du type de desserte sont exclusivement de la compétence des fournisseurs eux-mêmes. Étant donné que les services mobiles sont fournis sur la base de la concurrence que se livrent les fournisseurs privés de services de télécommunications en matière d'infrastructures, ceux-ci sont donc également responsables de la planification, de la construction et de l'exploitation de leur infrastructure de téléphonie mobile. Il n'appartient pas aux cantons et aux communes d'utiliser des moyens souverains pour influencer la qualité des réseaux de téléphonie mobile ou le type de desserte. Toutefois, ils peuvent prévoir une planification des sites dans le cadre de leurs compétences au titre des droits de la construction et de l'aménagement du territoire. De telles mesures d'aménagement du territoire ont un impact sur certains sites et donc indirectement sur la qualité de la desserte. L'exploitation

d'un site dont l'emplacement n'est pas optimal d'un point de vue radiotéchnique peut amener les opérateurs à créer des sites supplémentaires afin d'atteindre leur objectif de desserte.

En principe, il n'est donc pas exclu qu'un canton ou une commune édicte certaines prescriptions territoriales en lien avec le développement du réseau de téléphonie mobile. Ce faisant, il y a lieu de respecter les exigences du droit fédéral et de prendre en compte, conformément à la loi sur les télécommunications, que des services de communication mobile de haute qualité, avantageux et novateurs sont dans l'intérêt public. Il n'est pas prévu par la loi de donner la priorité à l'infrastructure du réseau fixe ou à la desserte WLAN à grande échelle sur les réseaux de télécommunications mobiles ni de séparer la desserte interne de la desserte externe. Les réglementations communales ne doivent pas violer les intérêts publics spécifiés dans la législation fédérale sur les télécommunications, c'est-à-dire qu'elles doivent prendre en compte l'exigence d'une desserte de bonne qualité et celle d'une concurrence effective entre opérateurs de téléphonie mobile.

En matière de conception et de planification, les exigences définies par l'UIT pour des services de communication mobile modernes (IMT-2020, voir 3.2.1) sont déterminantes pour les opérateurs de téléphonie mobile. Les opérateurs de réseaux et les fabricants de terminaux se réfèrent tous deux à ces spécifications. Comme la 5G est actuellement la seule technologie répondant à ces exigences, son introduction en Suisse assurera également la compétitivité internationale.

4.2.3 Architectures de réseau et introduction de la 5G

La LTC exige des opérateurs mobiles des services bon marché pour les particuliers et l'économie. C'est pourquoi l'efficacité en matière de construction et d'exploitation de réseaux de téléphonie mobile revêt une grande importance. Les « architectures de réseaux hybrides » se sont imposées à l'échelle internationale dans la planification, la construction et l'exploitation des réseaux de téléphonie mobile : l'épine dorsale de la desserte est constituée de macrocellules à forte puissance d'émission, qui assurent la desserte en téléphonie mobile (mobile, intérieur et extérieur) dans tout le pays. Dans les lieux à forte utilisation du téléphone mobile (stades, centres commerciaux, etc.) ou dans ceux où des exigences particulières sont requises (bâtiments commerciaux, hôpitaux, etc.), le réseau est complété par des installations à faible puissance (microcellules) ou par des solutions internes aux bâtiments. Ce quasi-standard a fait ses preuves dans le monde entier et est également prévu dans le cadre du développement de la 5G.

Dans un premier temps, la 5G est principalement utilisée dans la bande de fréquences autour des 3,5 GHz.³⁰ En Suisse, les fréquences supérieures à 24 GHz (ondes millimétriques) ne pourront être utilisées qu'ultérieurement à cet effet (voir 3.2.3). Leur utilisation est limitée à des espaces restreints où les besoins en capacité de transmission et en desserte à très haut débit sont très élevés (appelés hotspots).

À moyen terme, les bandes de fréquences existantes seront également utilisées pour la 5G. Les opérateurs de réseau mobile utilisent les bandes de fréquences existantes et les emplacements d'antennes 4G pour mettre rapidement la 5G à la disposition d'une grande partie de la population. Il existe des antennes pouvant transmettre aussi bien des signaux 4G que des signaux 5G. La technologie 5G ainsi mise en œuvre offre des performances légèrement supérieures à celles de la 4G, mais ne permet pas encore d'exploiter tout son potentiel.

4.2.4 Architectures de réseau comportant de petites cellules

On peut supposer qu'avec l'utilisation de fréquences plus élevées, l'utilisation de petites cellules aura tendance à augmenter. Comparées aux macrocellules, les petites cellules ont non seulement une conception plus petite, mais aussi une puissance d'émission et une capacité de transmission de données plus faibles. C'est pourquoi, même avec la technologie 5G, les performances d'une petite cellule n'atteindront jamais celles d'une macrocellule en termes de débit de données maximal, de disponibilité ou de nombre d'utilisateurs simultanés, surtout à grande distance. Toutefois, la 5G nécessite des petites cellules comme éléments porteurs des réseaux mobiles, en particulier dans les villes. Cela signifie que les réseaux de téléphonie mobile continueront d'avoir une architecture de réseau hétérogène : macrocellules pour la desserte à grande échelle, petites cellules pour les lieux où les besoins en capacité sont élevés.

4.2.5 Particularités de l'espace urbain

En Suisse, la majeure partie du trafic de données mobile est générée dans les villes. Sur le plan technique, la desserte des espaces urbains est un véritable défi non seulement parce que les zones à fort trafic de données sont très proches les unes des autres, mais aussi parce que les services demandés sont importants en termes de sécurité. En outre les possibilités d'utilisation sont diverses (dans les bâtiments jusqu'au sous-sol, sur les places très fréquentées, etc.) et la densité des LUS dans les zones résidentielles et les zones de loisirs est élevée. Dans les zones urbaines, les exigences posées à un service moderne de téléphonie mobile sont donc particulièrement élevées si l'on veut couvrir les besoins d'une société mobile. La densification du réseau de téléphonie mobile est inéluctable aujourd'hui comme dans le futur.

Les lieux très fréquentés tels que les centres-villes, les centres de loisirs publics, les centres commerciaux, les établissements d'enseignement, les immeubles de bureaux et d'administration ou les entreprises industrielles ayant un besoin accru de communication sont des domaines d'utilisation particulièrement prédestinés aux petites cellules.

Il est difficile de comparer l'extension des réseaux par des macrocellules supplémentaires avec celle par de petites cellules, en prenant en compte les coûts de planification, de construction et d'exploitation. En tant que propriétaires de bâtiments, de l'éclairage public et autres, les villes peuvent cependant apporter leur aide dans la phase d'acquisition du site, ce qui réduirait les dépenses.

4.2.6 Particularités le long des axes ferroviaires

En raison de la demande généralement croissante de connectivité sans fil et du cadre juridique suisse, les CFF, en tant qu'opérateur de téléphonie mobile supplémentaire (communications mobiles exclusivement pour les communications ferroviaires), sont confrontés aux mêmes défis que les trois opérateurs commerciaux. Avec la numérisation de la production ferroviaire, les exigences en matière de communication mobile augmentent considérablement. C'est la raison pour laquelle les CFF ont l'intention de mettre au point, entre 2022 et 2032, une connectivité de téléphonie mobile performante, fiable et hautement disponible dans le cadre de l'exploitation ferroviaire.

Le futur système de communication mobile ferroviaire (« Future Railway Mobile Communication System », FRMCS) sera basé sur les mêmes spécifications techniques que celles utilisées par les autres opérateurs (p. ex. 4G ou 5G). Afin d'assurer l'interopérabilité européenne, il sera nécessaire d'exploiter en parallèle le FRMCS et le GSM-Rail actuel durant une phase transitoire.

Pour la communication depuis et vers les trains, une distinction fondamentale est faite entre les types de communication suivants, les besoins futurs prévus étant également précisés :

Tableau 4 : Besoins futurs en matière de communications ferroviaires

Type de communication	Objectif de la desserte	Besoins futurs
Critical Communication	Fonctions critiques de l'exploitation ferroviaire (p. ex. contrôle-commande du système ferroviaire)	<10 MBit/s
Performance Communication	Optimisation de l'exploitation ferroviaire (p. ex. vidéosurveillance, informations à la clientèle)	<50 MBit/s
Business Communication	Desserte des passagers (p. ex. téléphonie, Internet dans le train)	≤1 GBit/s

Les opérateurs de téléphonie mobile commerciaux disposent généralement de trois orientations d'antenne en un emplacement d'antenne donné et desservent la zone correspondante de manière alvéolaire (3 fois 120 °). En conséquence, les lignes de chemin de fer sont couvertes par un grand nombre d'emplacements d'antennes. En plus de la desserte

locale, ces systèmes doivent également être en mesure de répondre aux exigences strictes d'une clientèle se déplaçant à grande vitesse. Afin de répondre aux besoins futurs en matière de communication au départ et à destination des trains, il y a lieu d'optimiser la desserte du corridor technique ferroviaire. À cet égard, les emplacements sont généralement situés directement à côté de la voie ferrée ; ils desservent le corridor ferroviaire avec deux orientations d'antenne (2 fois 180 °) et sont principalement utilisés pour la communication depuis et vers les trains.

Dans le cadre de la desserte mobile le long du corridor technique ferroviaire, les intensités de champ électrique ne présentent que de brèves pointes liées à la position du train en mouvement. À l'exception des LUS, la charge causée par les communications ferroviaires n'apparaît que brièvement sur les lignes très fréquentées. Actuellement, la charge moyenne des LUS est nettement inférieure à la valeur limite de l'installation en vigueur.

En matière d'optimisation de la desserte, la question n'est pas tant de savoir si la desserte est destinée à la communication ferroviaire ou à celle des passagers, mais plutôt si elle doit concerner uniquement la ligne ferroviaire (généralement deux orientations d'antenne) ou également les zones environnantes (généralement trois orientations d'antenne).

On peut supposer que, à l'avenir, les CFF et d'autres chemins de fer suisses³¹ utiliseront également des fréquences plus élevées, comme c'est le cas pour les opérateurs commerciaux. Le maintien de la qualité de la desserte dans ces gammes de fréquences nécessite des puissances d'émission plus élevées à architecture de réseau égale ou une densification des emplacements d'antennes respectant les conditions-cadres légales applicables. Selon le modèle choisi pour la future architecture du réseau mobile des CFF, on peut s'attendre à ce que jusqu'à 3000 nouveaux emplacements d'antennes (sur environ 5000 km de lignes) soient construits. À l'heure actuelle, les CFF exploitent environ 1200 sites.

Le nombre d'emplacements d'antennes requis est principalement influencé par les facteurs suivants :

- le cadre réglementaire de l'ORNI (valeurs limites légales),
- les parts du spectre de fréquences attribuées pour la desserte du corridor ferroviaire technique (attribution au niveau européen),
- les possibilités techniques de communication dans les trains (p. ex. les technologies d'antennes ou les fenêtres « perforées » au laser que les signaux de la téléphonie mobile traversent mieux que les fenêtres conventionnelles).

Outre l'aspect économique, des aspects techniques liés à la grande vitesse des trains ne plaident pas non plus en faveur de distances trop courtes entre les emplacements d'antennes. Si un dépassement bref de la valeur limite de l'installation était permis dans une certaine mesure (p. ex. au maximum 5 % du temps), le nombre d'emplacements d'antennes requis pour la desserte dans le corridor technique ferroviaire serait réduit, ce qui entraînerait des économies correspondantes. En raison de diverses questions ouvertes liées aux facteurs mentionnés, aucune donnée monétaire ne peut être fournie à l'heure actuelle sur le potentiel d'économies. Dans la perspective de la construction prochaine de la future desserte en téléphonie mobile du réseau ferroviaire, les CFF procèdent, en collaboration avec d'autres exploitants de réseaux, à divers essais afin d'examiner la desserte dans les trains grâce à différentes parties du spectre des fréquences et à différentes technologies. Les premiers résultats sont attendus sous peu.

4.3 Degré d'exploitation des valeurs limites

4.3.1 Bases

Le présent chapitre se base sur les données d'une enquête réalisée en décembre 2018 sur les informations opérationnelles des trois opérateurs de réseaux mobiles de Suisse.

Les données relatives à l'utilisation des capacités ont été fournies par les trois opérateurs et rendues anonymes et vérifiées par sondages par l'Office fédéral de la communication (OFCOM). Les données fournissent des informations sur la mesure dans laquelle les installations de téléphonie mobile atteignent la valeur limite de l'installation. Il en résulte une estimation du potentiel d'extension vers la nouvelle technologie 5G.

Selon la définition de l'ORNI, chaque installation de téléphonie mobile se compose d'un ou de plusieurs mâts d'antennes. En Suisse, il y a 12 274 installations, soit environ 18 000 antennes (état : décembre 2018). Cette enquête n'a pas pris en compte les quelque 1200 installations des CFF ni les installations Polycom. Les installations de moins de 6 W ERP qui ne sont pas fixes (p. ex. les femtocellules dans les ménages privés) n'ont pas non plus été prises en compte.

Tableau 5 : Nombre d'installations en fonction de la puissance d'émission

Installation	Nombre	Part
>6 W ERP	8542	70 %
<6 W ERP	3732	30 %
Total	12 274	100 %

Les installations de moins de 6 W ERP ne présentent pas d'intérêt pour l'évaluation du degré d'exploitation, car aucune valeur limite de l'installation ne leur est applicable et, en règle générale, la procédure d'autorisation en ce qui les concerne est simplifiée (voir 4.2.1). Il reste donc un total de 8542 installations d'une puissance d'émission supérieure à 6 W ERP, qui sont examinées et décrites ci-après.

Les installations de téléphonie mobile sont réparties en trois groupes : installations rurales, suburbaines et urbaines. La classification tient compte de la densité des terminaux et de la densité des LUS. Les chiffres sont basés sur trois jeux de géodonnées actuelles issus des statistiques fédérales.³² Ces trois jeux contiennent des valeurs de densité par hectare dont le maximum est utilisé comme « densité d'utilisation par hectare ». D'où la classification suivante :

- zone urbaine : >200 utilisateurs/ha
- zone suburbaine : 50-200 utilisateurs/ha
- zone rurale : <50 utilisateurs/ha

Sur les 8542 installations, 2060 se trouvent en zone urbaine, 2733 en zone suburbaine et 3748 en zone rurale.

Pour vérifier les statistiques, l'OFCOM a examiné les données relatives à 1 % des installations (85 installations). Au sein de chaque canton, trois installations ont été choisies au hasard, une dans chacune des zones urbaines, suburbaines et rurales et une pour chacun des trois opérateurs. En outre, une installation supplémentaire a été choisie dans sept cantons, en tenant également compte des zones et des opérateurs.

Tableau 6 : Installations contrôlées par zone et opérateur

Opérateur	Nombre d'installations contrôlées dans la zone			Total
	urbaine	suburbaine	rurale	
Salt	10	9	9	28
Sunrise	9	10	9	28
Swisscom	9	10	10	29
Total	28	29	28	85

Lors de la vérification, les pourcentages relatifs au degré d'exploitation de la VLInst et au degré d'exploitation de la puissance autorisée ont été comparés à ceux de la base de données RNI de l'OFCOM (BD-RNI).

Tableau 7 : Résultats des sondages

Sondages	%	Remarque
72	85 %	Indications de la statistique identiques à celles de la BD-RNI (écart <1 % ; erreur d'arrondi)
11	13 %	La version de la fiche de données spécifique au site a dû être actualisée dans la BD-RNI.
5	6 %	Un service est temporairement inactif. L'installation ne change cependant pas de catégorie en ce qui concerne le degré d'exploitation. Un contrôle de suivi a fourni des indications correctes.
0	0 %	Dépassement de la puissance d'émission autorisée
0	0 %	Dépassement de la valeur limite de l'installation
88	100 %	Total

L'analyse des échantillons confirme que les données fournies par les opérateurs en décembre 2018 sont correctes. Les statistiques ont donc pu être élaborées de manière fiable sur cette base.

4.3.2 Degré d'exploitation de la valeur limite de l'installation selon l'autorisation

Pour chaque installation, on a recherché dans les données relatives à son autorisation le LUS présentant l'intensité de champ la plus élevée selon la fiche de données spécifique au site (en % de la VLInst). Cette procédure représente l'approche la plus défavorable pour une direction d'émission donnée, tout en laissant ouverte la question de savoir s'il serait encore possible d'augmenter la puissance d'émission dans d'autres directions. Il ressort de la Figure 5 que, dans les zones urbaines et suburbaines, la plupart des installations de téléphonie mobiles exploitent en grande partie la VLInst figurant dans la fiche de données spécifique au site.

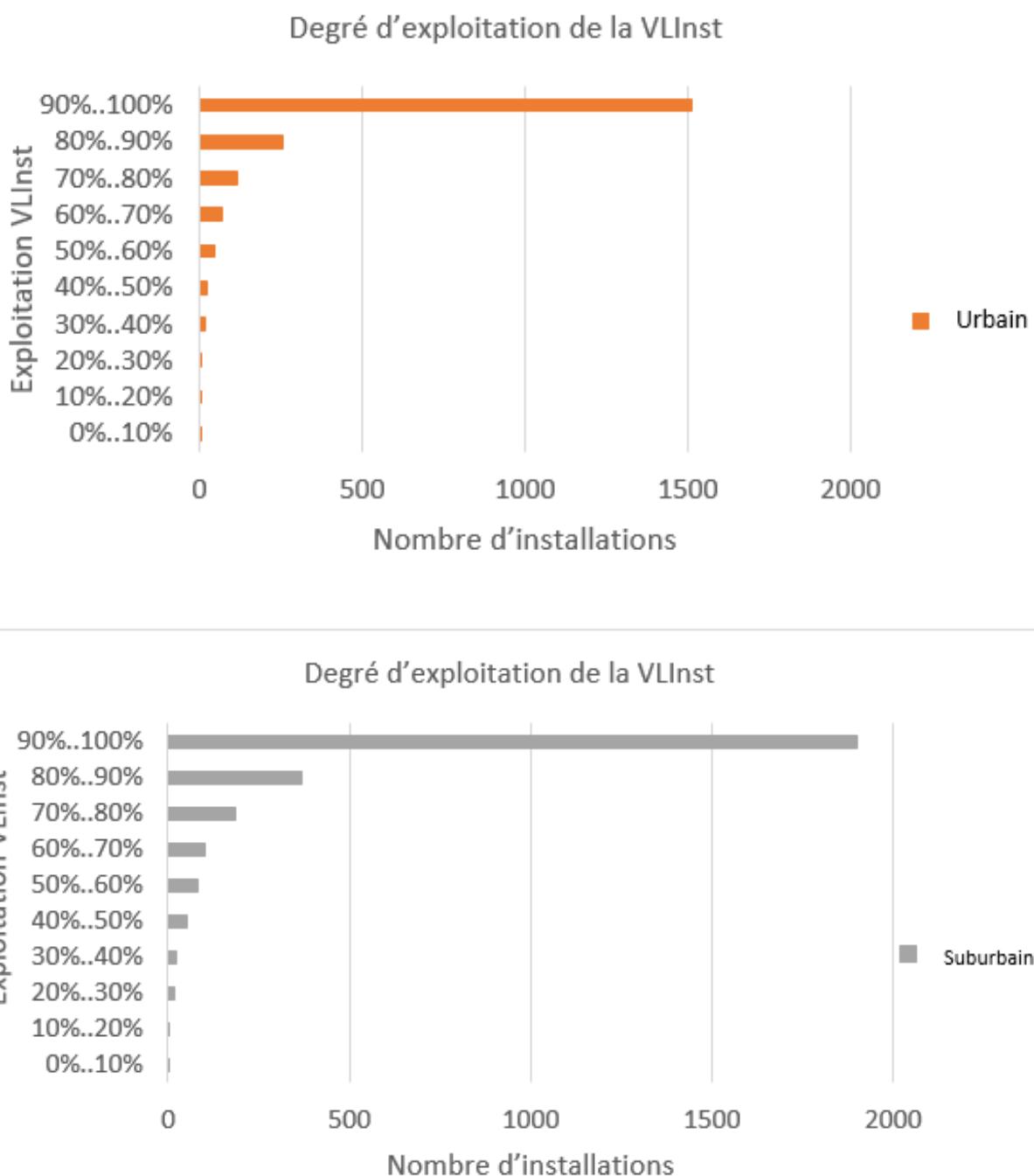


Figure 5 : Degré d'exploitation de la VLInst (zones urbaine et suburbaine)

Même dans les zones rurales, de nombreuses installations de téléphonie mobile atteignent presque la VLInst. Dans la Figure 6, il est frappant de constater qu'il y a tout de même des installations dont la valeur est nettement inférieure à la VLInst.

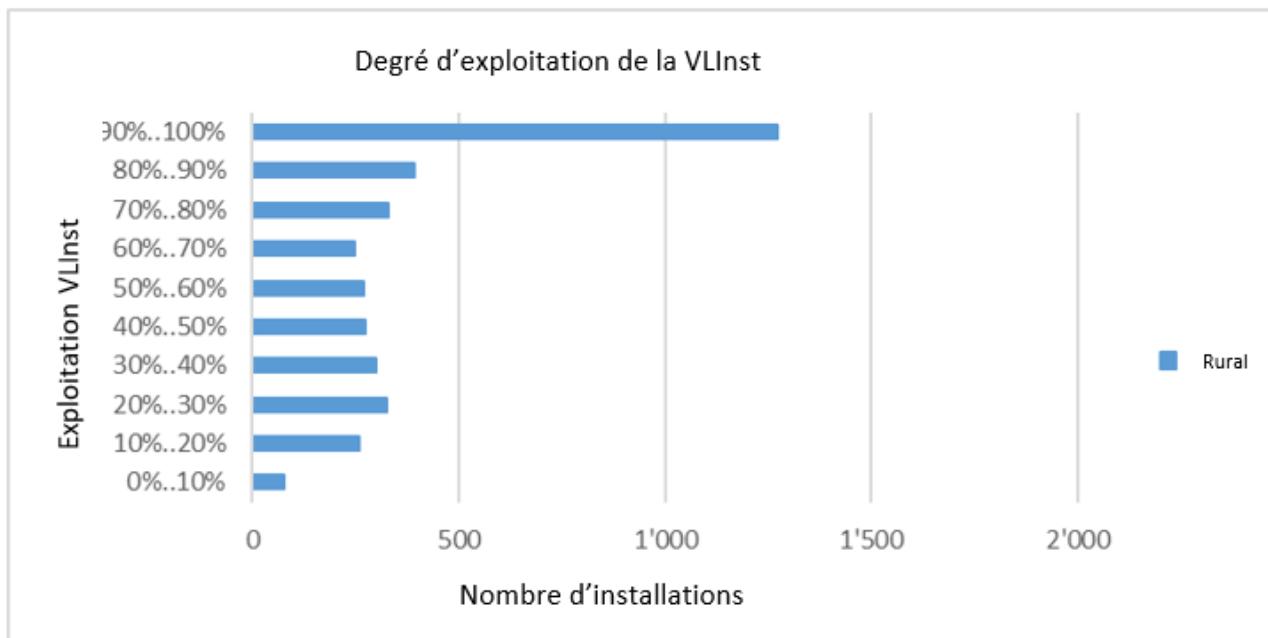


Figure 6 : Degré d'exploitation de la VLInst (zone rurale)

4.3.3 Degré d'exploitation de la puissance d'émission autorisée

Outre le degré d'exploitation de la VLInst indiquée dans la fiche de données spécifique au site, il est également intéressant de savoir dans quelle mesure les installations de téléphonie mobile utilisent effectivement les puissances d'émission autorisées. Pour ce faire, la puissance d'émission actuellement réglée (c'est-à-dire la puissance d'émission réglée à laquelle l'installation émettrait si elle était saturée) est comparée à la puissance d'émission autorisée figurant sur la fiche de données spécifique au site. Seul le secteur ayant la charge la plus élevée est utilisé pour chaque emplacement. Celui-ci ne doit pas nécessairement être dans la direction du LUS le plus chargé selon le calcul. Cette évaluation fournit des informations sur l'exploitation réelle du réseau mobile et indique si les stations mobiles ont encore des « réserves cachées ».

Il ressort de la Figure 7 que la plupart des installations de téléphonie mobile des zones urbaines et suburbaines atteignent la puissance d'émission autorisée. Dans les zones rurales, en revanche, certaines installations n'utilisent pas pleinement la puissance d'émission autorisée.

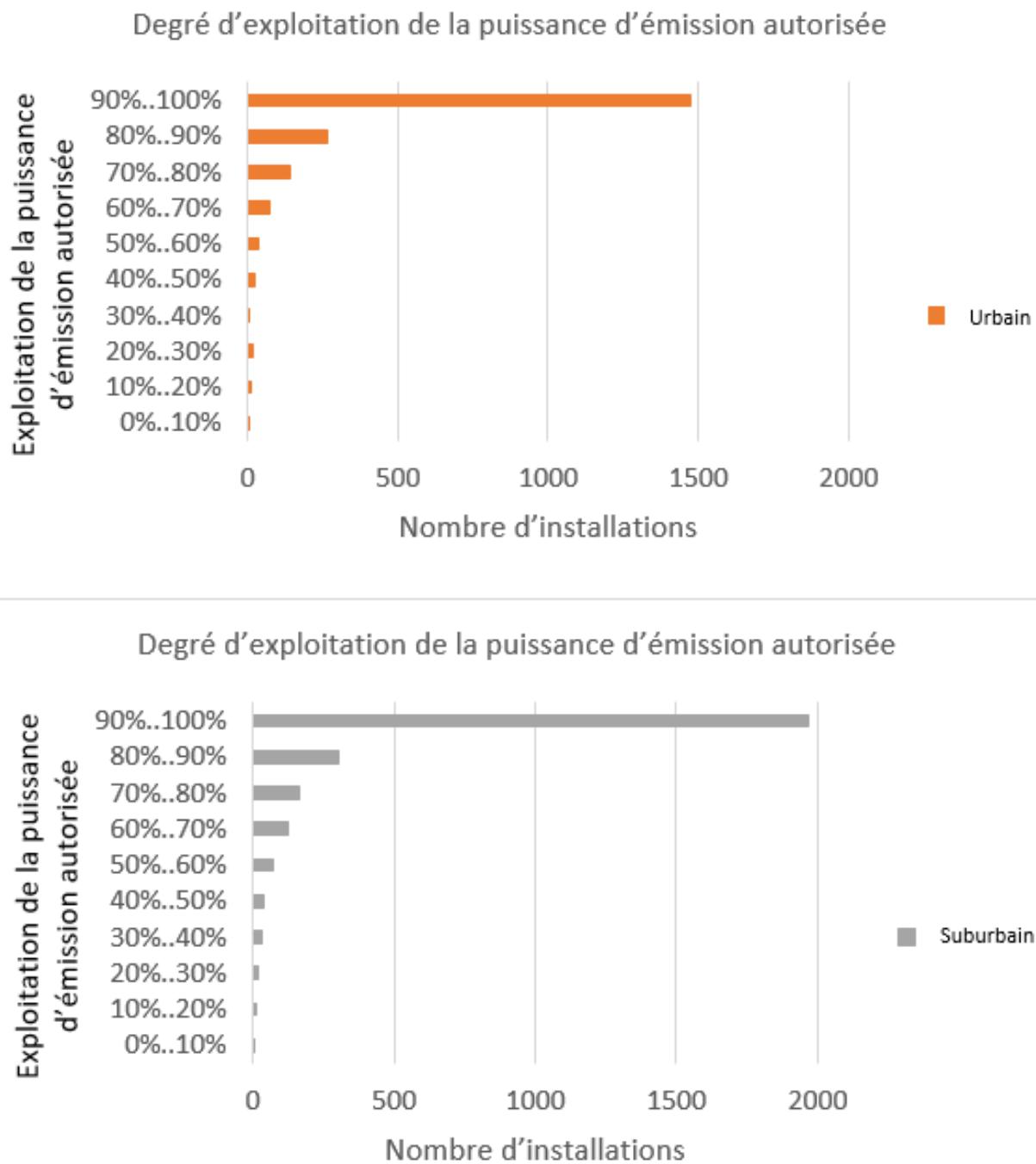


Figure 7 : Degré d'exploitation de la puissance d'émission autorisée (zones urbaine et suburbaine)

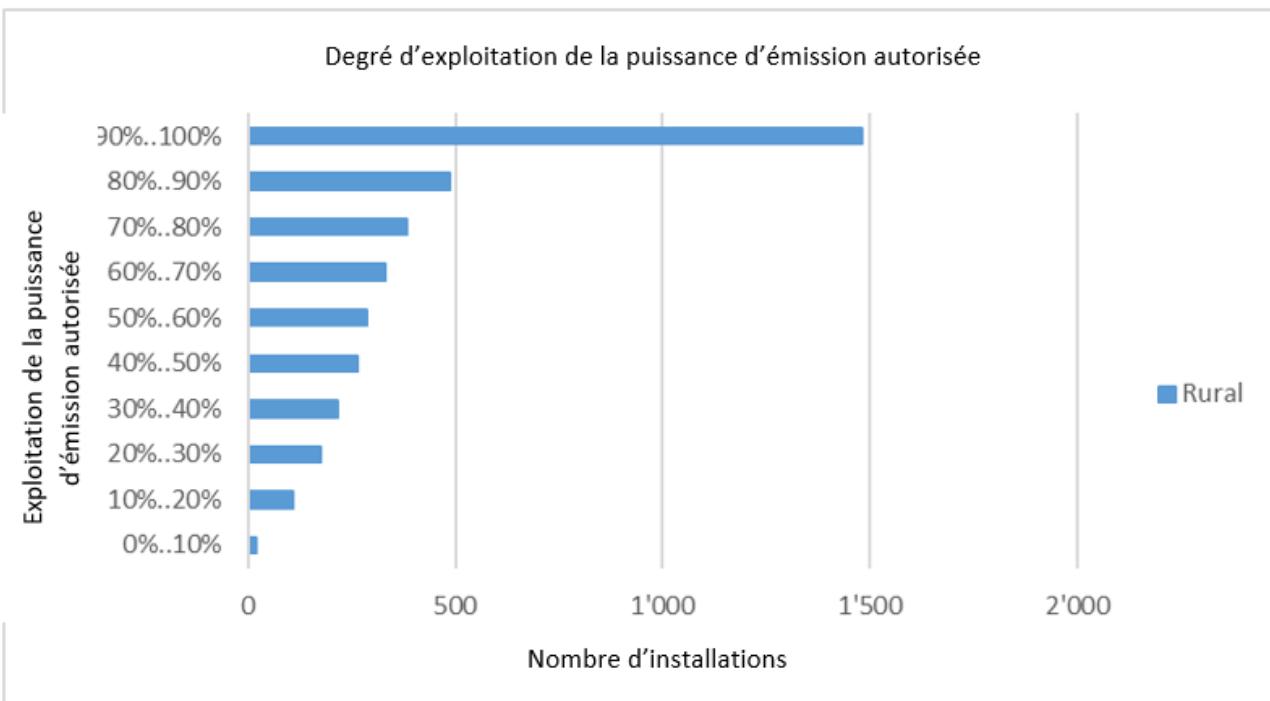


Figure 8 : Degré d'exploitation de la puissance d'émission autorisée (zone rurale)

4.3.4 Possibilités d'extension

Étudier les possibilités d'extension revient à rechercher si la fonctionnalité des stations de base peut être étendue, c'est-à-dire dans quelle mesure il est possible de déployer la technologie 5G à titre complémentaire sur les sites existants. L'étude est basée sur le scénario selon lequel la 5G sera mise en œuvre sur des sites existants (sans antennes supplémentaires), en complément aux technologies existantes (sans arrêt des services fournis sur un site) et à pleine capacité.

La possibilité d'extension est fondée sur la puissance d'émission qui pourrait être déployée en un emplacement donné jusqu'à ce que la VLInst soit atteinte, sans renoncer aux services déjà fournis. Le secteur dans lequel le degré d'exploitation de la puissance est le plus élevé sera sélectionné. Ont été évalués et combinés, d'une part, le degré d'exploitation de la VLInst par l'intensité de champ autorisée et, d'autre part, celui de la puissance d'émission autorisée dans l'exploitation actuelle.

Pour déployer un réseau de téléphonie mobile 5G avec une couverture nationale qui implique les stations de téléphonie mobile existantes, les rayons des différentes cellules radio doivent rester inchangés. Selon l'explication donnée au point 4.3.6, il faudrait pouvoir augmenter à cet effet la puissance d'émission d'une installation de téléphonie mobile d'un facteur 12,4. Cela signifie qu'une installation existante ne doit utiliser que 8 % de la puissance d'émission maximale possible pour pouvoir être étendue à la 5G dans la bande de fréquences des 3,5 GHz à des conditions de qualité satisfaisante. Dans le Tableau 9, ce chiffre est arrondi à 10 %.

Les installations qui utilisent plus de 10 % mais moins de 80 % de la puissance d'émission maximale possible ne peuvent être étendues qu'avec des bandes de fréquences supplémentaires utilisant la technologie 4G. La limite d'utilisation de 80 % a été définie pour les calculs du modèle présentés au Tableau 9. Il est donc supposé qu'à partir de cette valeur une installation ne peut plus être étendue. Les opérateurs, eux, partent du principe qu'une installation dont l'utilisation de la puissance d'émission maximale se situe entre 10 et 50 % peut facilement être étendue. Ils estiment qu'avec un taux d'utilisation compris entre 50 et 70 % elle ne peut être étendue que dans une mesure limitée et qu'elle ne peut plus l'être à partir de 70 %.

Le calcul de l'extensibilité a été effectué en deux étapes.

- Premièrement, le LUS ayant le degré d'exploitation de la VLInst le plus élevé en ce qui concerne l'intensité de champ autorisée a été pris en considération. Le carré de cette valeur indique le degré d'exploitation possible eu égard à la puissance d'émission maximale possible pour laquelle la VLInst est encore respectée (cf. Tableau 8).
- Les opérateurs étant libres d'émettre à une puissance inférieure à la puissance autorisée, la deuxième étape consiste à évaluer le degré d'exploitation de la puissance autorisée.

Pour savoir si une installation de téléphonie mobile (état : décembre 2018) peut être étendue, il y a lieu de combiner les degrés d'exploitation de la puissance d'émission maximale possible jusqu'à la VLInst (autorisation) et de la puissance d'émission autorisée (voir Tableau 9). Le degré d'exploitation de la VLInst dans le LUS le plus chargé et le degré d'exploitation le plus élevé de la puissance d'émission autorisée ne doivent pas nécessairement se situer dans le même secteur.

Tableau 8 : Degré d'exploitation de la puissance d'émission maximale possible

Degré d'exploitation de l'intensité de champ autorisée par rapport à la VLInst	Degré d'exploitation de la puissance d'émission autorisée par rapport à la VLInst	Zone urbaine	Zone suburbaine	Zone rurale	Suisse
90–100 %	80–100 %	1510 (73 %)	1900 (70 %)	1273 (34 %)	4683
30–90 %	10–80 %	535 (26 %)	810 (30 %)	1813 (48 %)	3158
0–30 %	0–10 %	15 (1 %)	23 (1 %)	662 (18 %)	700
	Total	2060 (100 %)	2733 (100 %)	3748 (100 %)	8541

Tableau 9 : Extensibilité des installations de téléphonie mobile

Extensibilité	Degré d'exploitation de la VLInst et de la puissance d'émission maximale	Zone urbaine	Zone suburbaine	Zone rurale	Suisse
Non extensible	80–100 %	1190 (58 %)	1496 (55 %)	706 (19 %)	3392
4G extensible	10–80 %	834 (40 %)	1179 (43 %)	2046 (55 %)	4059
Extensible à 5G	0–10 %	36 (2 %)	58 (2 %)	996 (26 %)	1090
	Total	2060 (100 %)	2733 (100 %)	3748 (100 %)	8541

Il en résulte la présentation graphique suivante :

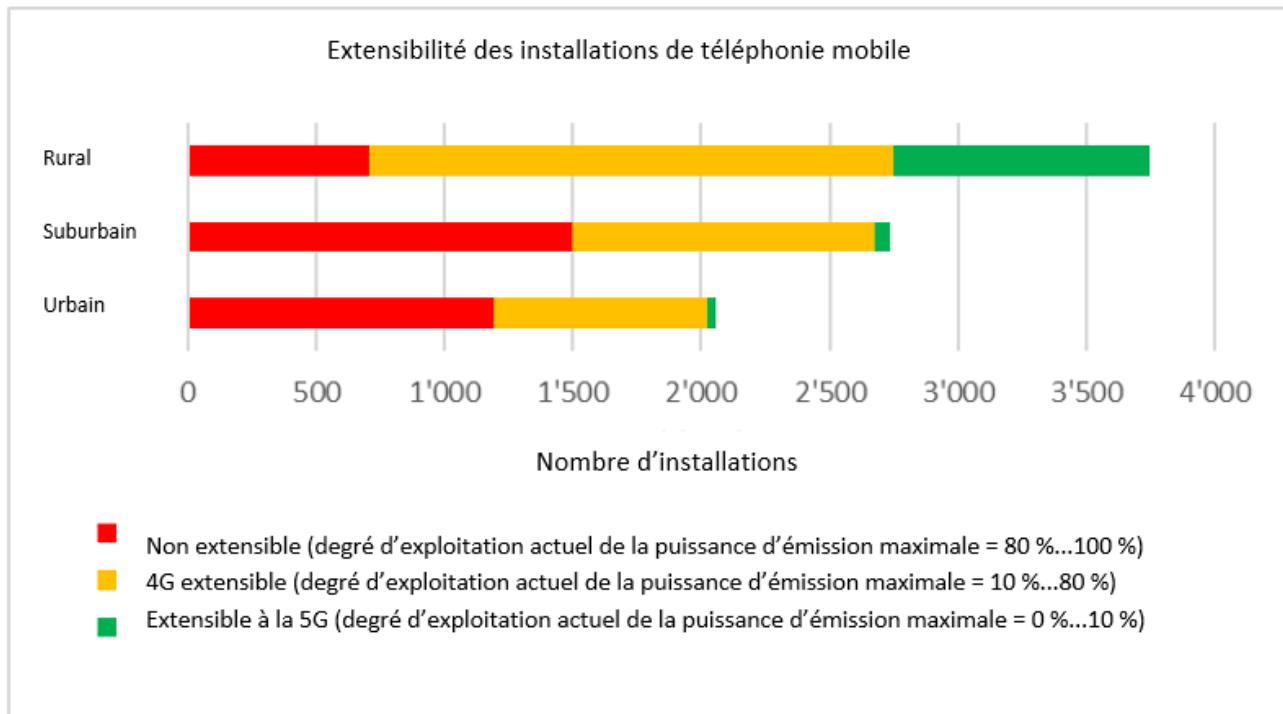


Figure 9 : Extensibilité des installations de téléphonie mobile par zone

4.3.5 Interprétation des données

L'évaluation des données fournies par les opérateurs montre qu'une augmentation de la puissance d'émission est limitée par la valeur limite de l'installation pour la plupart des installations de téléphonie mobile, en particulier dans les zones urbaines et suburbaines. La technologie 5G ne peut être implantée que sur 2 % environ des installations existantes. Avec les réglementations en vigueur, la technologie 4G peut être étendue sur plus de 40 % des installations existantes. L'introduction, à l'échelle nationale, d'un réseau 5G exploitant pleinement le potentiel de la technologie n'est pas possible sur les sites existants en complément aux services existants et nécessite la construction de nouveaux sites.

4.3.6 Besoins futurs dans ce contexte

Lors de l'adjudication qui a eu lieu début 2019, une bande passante supplémentaire de 445 MHz a été attribuée en plus de la largeur de bande existante de 575 MHz (30 MHz supplémentaires qui étaient disponibles n'ont pas été attribués). La bande de fréquences de 3,41 à 3,5 GHz, qui convient également comme bande pionnière de la 5G, est aujourd'hui encore utilisée par d'autres applications en Suisse (p. ex. les caméras de télévision sans fil), mais elle devrait bientôt être attribuée à la téléphonie mobile, bien que l'utilisation spécifique (p. ex. les solutions dites Campus) ne soit pas encore connue.

Cela signifie qu'une largeur de bande totale de 1020 MHz est désormais disponible pour la téléphonie mobile en Suisse, soit une augmentation de 77 %. Dans la seule bande des 3,5 GHz, 300 MHz ont été ajoutés, ce qui correspond à 67 % de l'augmentation.

Afin de pouvoir répondre aux attentes de la nouvelle génération de la téléphonie mobile et exploiter pleinement le potentiel de la 5G, certaines exigences techniques minimales doivent être remplies. Dans un premier temps, la bande de fréquences comprise entre 3,5 et 3,8 GHz est à utiliser pour la 5G, avec des largeurs de bande par porteuse allant jusqu'à 100 MHz en général. Une largeur de bande minimale de 80 MHz est nécessaire pour obtenir une amélioration significative par rapport à la 4G.

Un arrêt de la 2G, voire de la 3G, aura peu d'influence sur l'introduction de la 5G et n'aura donc guère d'effet sur le degré d'exploitation du réseau (cf. Tableau 2). Aujourd'hui, la 2G n'utilise qu'environ 5 % de la puissance d'émission totale. La principale charge du trafic de données mobiles actuel est supportée par la technologie 4G, qui sera encore en service pendant de nombreuses années et qui sera vraisemblablement encore étendue.

4.3.6.1 Puissance additionnelle requise pour réaliser la 5G avec une bande de 80 MHz³³ dans la gamme des 3,5 GHz

L'utilisation de nouvelles bandes de fréquences dans la gamme des 3,5 GHz engendre des besoins supplémentaires de puissance.

- Largeur de bande supplémentaire : pour étendre judicieusement la 5G dans un premier temps, il faudrait pouvoir utiliser une largeur de bande de 80 MHz. En supposant que les stations de base existantes soient utilisées pour l'extension de la 5G et qu'aujourd'hui les opérateurs utilisent des bandes entre 40 et 75 MHz de large sur leurs sites, il faudrait en moyenne pouvoir augmenter la puissance d'un facteur 2,39 (3,78 dB). Pour les nouvelles fréquences, il faudra prévoir une correction supplémentaire (voir points suivants).
- Pertes par propagation : si la 5G doit être utilisée dans la bande des 3,5 GHz sur les sites existants, 3,78 fois plus de puissance (5,78 dB) doit être émise par rapport à la bande des 1,8 GHz pour atteindre une même qualité du signal à la périphérie de la cellule.³⁴ Les mesures effectuées par les opérateurs montrent une augmentation des pertes par propagation d'un facteur de 2,75 (4,40 dB) pour le passage de 1,8 GHz à 3,5 GHz.³⁵ En moyenne, une augmentation de la puissance d'un facteur au moins égal à 3,27 (5,14 dB) est nécessaire à titre de compensation.
- Atténuation par les bâtiments : le fait que l'atténuation par les bâtiments augmente lorsque les fréquences augmentent doit également être pris en compte, l'augmentation étant d'un facteur de 2,51 (4,00 dB) par rapport à 1,8 GHz. Ces pertes de pénétration doivent donc être compensées en augmentant la puissance d'un facteur 2,51 (4,00 dB). La variation de cette atténuation en fonction de la fréquence n'est pas prise en compte dans le calcul actuel de l'exposition des LUS.

Compte tenu des trois points mentionnés ci-devant, il résulte un facteur total de 12,4 ($1,39 \times 3,27 \times 2,51 + 1$) ou l'équivalent de 10,9 dB pour la puissance totale requise à un emplacement existant. Il faudrait donc 12,4 fois plus de puissance au total pour que la 5G puisse être pleinement utilisée sur les sites actuels (sans prise en compte d'une éventuelle nouvelle méthode d'évaluation de la puissance d'émission déterminante en cas d'utilisation d'antennes adaptatives).

4.3.6.2 Estimation des besoins en sites supplémentaires

Compte tenu de la nécessité de cette puissance supplémentaire et du fait que les sites existants sont déjà bien exploités aujourd'hui, les nouvelles étapes d'extension de la 5G nécessitent la construction de nouveaux sites. Seuls quelques sites, presque exclusivement ruraux, permettent encore une extension sous la forme souhaitée par les opérateurs. Les estimations des opérateurs de réseaux mobiles tablent sur une demande supplémentaire d'environ 26 500 emplacements, compte tenu d'une réglementation adéquate des antennes adaptatives, pour garantir une couverture nationale performante selon l'IMT-2020 de l'UIT (estimation fondée sur la puissance additionnelle requise pour la 5G et les possibilités d'extension existantes [se reporter à 4.3.6.1]).

4.3.6.3 Autre supplément de puissance nécessaire à la réalisation d'un plein développement de la 5G

Pour atteindre la pleine performance de la 5G, une largeur de bande de 100 MHz n'est pas suffisante. Par conséquent, pour la 5G, d'autres bandes de fréquences autour des 700 MHz et des 1,4 GHz seront utilisées en plus de la bande à 3,5 GHz. Ultérieurement, des fréquences supérieures à 24 GHz (appelées ondes millimétriques) seront ajoutées. Des puissances d'émission appropriées à ces fréquences devront également être mises à disposition.

4.4 Coûts du développement de la 5G

Pour calculer le coût total de l'introduction de la 5G, on dispose d'informations sur le coût du développement de certaines installations. Les estimations des coûts se rapportent à l'objectif de qualité de la desserte à l'échelle nationale selon l'IMT-2020 de l'UIT (intérieur, extérieur et mobile), qui peut être atteint avec les 3,5 GHz actuellement disponibles. Le maintien des technologies 4G et précédentes ne fait pas l'objet de la présente évaluation. Au niveau international, la 5G est généralement introduite sur l'infrastructure existante (c'est-à-dire les sites de téléphonie mobile existants). Des antennes adaptatives avec une puissance appropriée doivent pouvoir être utilisées à cette fin. Dans l'estimation (Tableau 10), on a supposé que l'on pouvait utiliser des antennes adaptatives ayant une puissance d'émission suffisante. Les coûts varient selon le type d'installation et l'opérateur. Les investissements non récurrents (*capital expenditure, capex*) et les coûts d'exploitation récurrents annuels (*operational expenditure, opex*) ont été calculés et sont présentés ci-après.

Tableau 10 : Investissements (capex) et coûts d'exploitation (opex) par installation de téléphonie mobile (en CHF, arrondi à 5000).

	Capex	Opex par an
<i>Construction d'une installation de téléphonie mobile 5G</i>		
Antenne en toiture (<i>rooftop</i>)	245 000	15 000
Mâts d'antennes en terrain ouvert (<i>greenfield</i>)	305 000	15 000
Petites cellules (microcellules autour de 6 W ERP)	50 000	5 000
<i>Mise à jour 5G des installations de téléphonie mobile existantes (hors petites cellules)</i>		
Mise à jour 5G	105 000	5 000
<i>Utilisation à titre complémentaire des installations de téléphonie existantes</i>		
Antenne en toiture (<i>rooftop</i>)	165 000	15 000
Mâts d'antennes en terrain ouvert (<i>greenfield</i>)	215 000	15 000

Les estimations de coûts présentées au Tableau 10 correspondent à des valeurs moyennes reflétant l'état actuel, à l'échelle nationale, de l'extension du réseau par les opérateurs. L'OFCOM considère que l'ordre de grandeur de ces informations fournies par les opérateurs (asut) est en principe plausible. Les coûts peuvent varier selon le site (loyers pour installations plus chers en zone urbaine, frais de raccordement plus élevés en zone rurale).

5 Liens entre émissions, immissions et exposition

5.1 Notions

Plusieurs facteurs doivent être pris en considération afin de caractériser la charge de rayonnement non ionisant (RNI) à laquelle la population est exposée.

- Les *émissions* expriment la puissance d'émission d'une source et sont généralement mesurées en watt (W). Souvent, la notion de puissance apparente rayonnée (ERP) d'une antenne est également utilisée.
- Les *immissions* correspondent à l'incidence du RNI dans l'environnement (intensité de champ électrique en volts par mètre [V/m] ou densité de flux de puissance en watts par mètre carré [W/m²]).
- L'*exposition* indique le RNI à l'endroit où se situe une personne (V/m ou W/m²).
- La *dose* traduit le RNI absorbé par le corps (taux d'absorption spécifique [TAS en W/kg] ou débit d'absorption spécifique [DAS en W/Kg]). L'absorption pendant une certaine durée est qualifiée de dose cumulée. Cette dernière s'obtient en multipliant la valeur TAS par la durée. Elle est exprimée en joules (J) par kilogramme de masse corporelle par jour.
- L'*effet* désigne l'impact biologique / les conséquences pour la santé (cf. chap. 6).

5.2 Les sources de RNI de haute fréquence en tant qu'émissions

Les sources de RNI de haute fréquence peuvent être réparties sommairement en deux catégories.

- Les sources à distance telles que les stations de base de téléphonie mobile, les antennes de radio et de télévision, les routeurs pour réseaux sans fil et les téléphones portables des personnes se trouvant à proximité : pour les sources situées à cette distance, le sujet se trouve dans un champ dit éloigné et l'exposition est mesurée sous forme d'intensité de champ électrique en V/m ou de densité de flux de puissance en W/m². Les variations de champ dues aux modulations (p. ex. des pics de champ) ne sont pas prises en compte. Se référer au point 5.4 concernant l'exposition à ce type de sources.
- Les sources à proximité du corps telles que les téléphones mobiles, les téléphones sans fil et les ordinateurs portables : pour ce type de sources, le sujet se trouve en général dans un champ dit proche et l'exposition est mesurée sous forme de TAS. La valeur TAS ne prend en compte ni les modulations ni les interruptions de courte durée du rayonnement. Se référer au point 5.5 concernant l'exposition à ce type de sources.

5.3 Immissions liées au RNI

Les immissions de RNI sont d'une très grande diversité.³⁶

- Premièrement, il est possible de les classer selon leur fréquence. En Suisse, la téléphonie mobile utilise depuis longtemps les bandes de fréquence de 400 (Polycom), 800 et 900 MHz ainsi que de 1,8, 2,1 et 2,6 GHz. Début 2019, de nouvelles fréquences ont été attribuées à la téléphonie mobile : 700 MHz ainsi que 1,4 et 3,5 GHz. Les réseaux sans fil emploient quant à eux des fréquences de 2,4 et de 5 GHz.
- Deuxièmement, les immissions liées au RNI peuvent être classifiées selon leur intensité. Celle-ci dépend de la puissance d'émission, de la distance par rapport à la source et des éventuels obstacles sur le trajet de propagation. À distance égale, les sources qui émettent fortement génèrent des immissions plus élevées que celles qui émettent faiblement. Toutefois, si l'on se tient plus près d'une source émettant faiblement que d'une source qui émet fortement, les immissions de la première peuvent être plus élevées.

- Troisièmement, les immissions présentent un profil temporel différent selon la source. Le rayonnement des installations de radiodiffusion, par exemple, reste constant alors que celui des installations de téléphonie mobile varie selon la charge du réseau.
- Enfin, la forme du signal diffère selon la source du rayonnement ou sa technologie (radiocommunication, téléphonie mobile, réseau sans fil, téléphones sans fil, radars, etc.). Elle va d'un signal parfaitement sinusoïdal, sans distorsions ni interruptions, jusqu'à un rayonnement pulsé avec des impulsions très courtes et des pauses inactives relativement longues dans le cas du rayonnement radar.

La recherche sur les effets du rayonnement n'a jusqu'à présent pas permis de déterminer si les immissions ne dépassant pas les valeurs limites appliquées au niveau international pourraient avoir une incidence sur la santé. On ne peut donc pas définir une dose pertinente pouvant éventuellement avoir une incidence sur la santé lors d'une exposition quotidienne. Il pourrait s'agir de l'immission moyenne, mais cela pourrait aussi être l'exposition maximale ou la durée pendant laquelle un certain seuil est dépassé. On ne sait pas non plus si certaines formes de signaux, notamment les signaux pulsés, ont des effets biologiques particulièrement importants.³⁷

Dans une certaine mesure, la structure du réseau (voir point 4.2) peut influer tant sur la charge de rayonnement maximale que sur l'immission moyenne. La forme du signal dépend quant à elle de la technologie utilisée.

5.4 Exposition environnementale par des sources à distance

5.4.1 Méthodes de mesure

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer l'exposition au RNI de haute fréquence dans l'environnement. Des appareils de mesure portables (exposimètres) sont utilisés sur des sujets volontaires pour relever l'exposition personnelle dans la vie de tous les jours (mesure sur des sujets). Les exposimètres sont également utilisés par des spécialistes qui s'en servent pour les mesures mobiles (en marchant ou en déplacement avec un véhicule). Cela permet de récolter de nombreuses données de mesure sur des sites généralement fréquentés par la population (mesure dans un microenvironnement). Les immissions sont soit mesurées via des mesures stationnaires réalisées par des appareils sophistiqués (mesure ponctuelle), soit déterminées à l'aide de modèles de propagation. Toutes ces méthodes présentent des avantages et des inconvénients. Il faut de plus souligner qu'aucune de ces méthodes (pas même la mesure sur des sujets) ne permet de déterminer la dose de rayonnement totale absorbée. Lorsqu'une mesure est réalisée sur un sujet, l'impact du téléphone de la personne concernée est largement sous-estimé, car ce téléphone est utilisé près du corps et que l'appareil de mesure, situé à une certaine distance du téléphone, ne mesure qu'une faible partie du rayonnement émis. Le point 5.6.1 présente des estimations de la dose absorbée cumulée de RNI de haute fréquence.

5.4.2 Résultats des mesures sur des sujets

Concernant l'exposition au RNI de haute fréquence, il existe peu de mesures sur des sujets en Suisse à ce jour. Les données les plus récentes datent de 2015-2016 : les mesures ont été effectuées sur 115 sujets du canton de Zurich.³⁸ L'exposition personnelle moyenne au RNI de haute fréquence mesurée pour les sujets participant à cette étude était de 0,18 V/m. Les rayonnements principaux étaient émis par les stations de base de téléphonie mobile (38 %) et les téléphones mobiles d'autres personnes (35 %), suivis de la radiocommunication (18 %), des réseaux sans fil (5 %) et des téléphones sans fil (4 %). L'exposition au RNI de haute fréquence était un peu plus importante pour les jeunes adultes (0,22 V/m) que pour les jeunes et leurs parents (0,16 V/m dans les deux cas). La valeur moyenne maximale mesurée s'élevait à 0,42 V/m. Ces mesures ne tiennent pas compte de l'utilisation personnelle que font les sujets de leur téléphone (voir point 5.5).

En plus des moyennes journalières, l'étude a déterminé les valeurs moyennes par activité pour chaque participant. En moyenne, l'exposition la plus importante au RNI de haute fréquence a été mesurée dans les transports publics (train : 0,55 V/m ; bus : 0,39 V/m ; tram : 0,33 V/m ; voir Figure 10). L'exposition au RNI de haute fréquence s'élevait à 0,29 V/m

dans les voitures, à 0,30 V/m à l'extérieur et à 0,22 V/m sur le lieu de travail. Les valeurs les plus faibles ont été mesurées à l'école (0,15 V/m) et à la maison (0,11 V/m). Les différences entre les habitants des zones rurales d'une part et urbaines d'autre part étaient relativement faibles. Cependant, l'exposition au RNI de haute fréquence pour les stations de base de téléphonie mobile était d'autant plus importante que la zone était urbanisée.

D'autres études d'Europe et d'Australie ayant réalisé des mesures sur des sujets obtiennent généralement une valeur moyenne d'exposition au RNI de haute fréquence de l'ordre de 0,2 V/m.³⁹

Pour interpréter les mesures sur des sujets, il faut prendre en compte le fait que l'appareil de mesure est porté près du corps et que ce dernier peut donc masquer une partie du rayonnement, ce qui peut induire une sous-estimation de l'exposition lors de la mesure. Cette sous-estimation peut atteindre jusqu'à 50 % en fonction de la bande de fréquence concernée et de la situation.⁴⁰ Par ailleurs, la part de rayonnement liée au téléphone mobile utilisé par un sujet engendre une légère surestimation du RNI de haute fréquence dans l'environnement.⁴¹

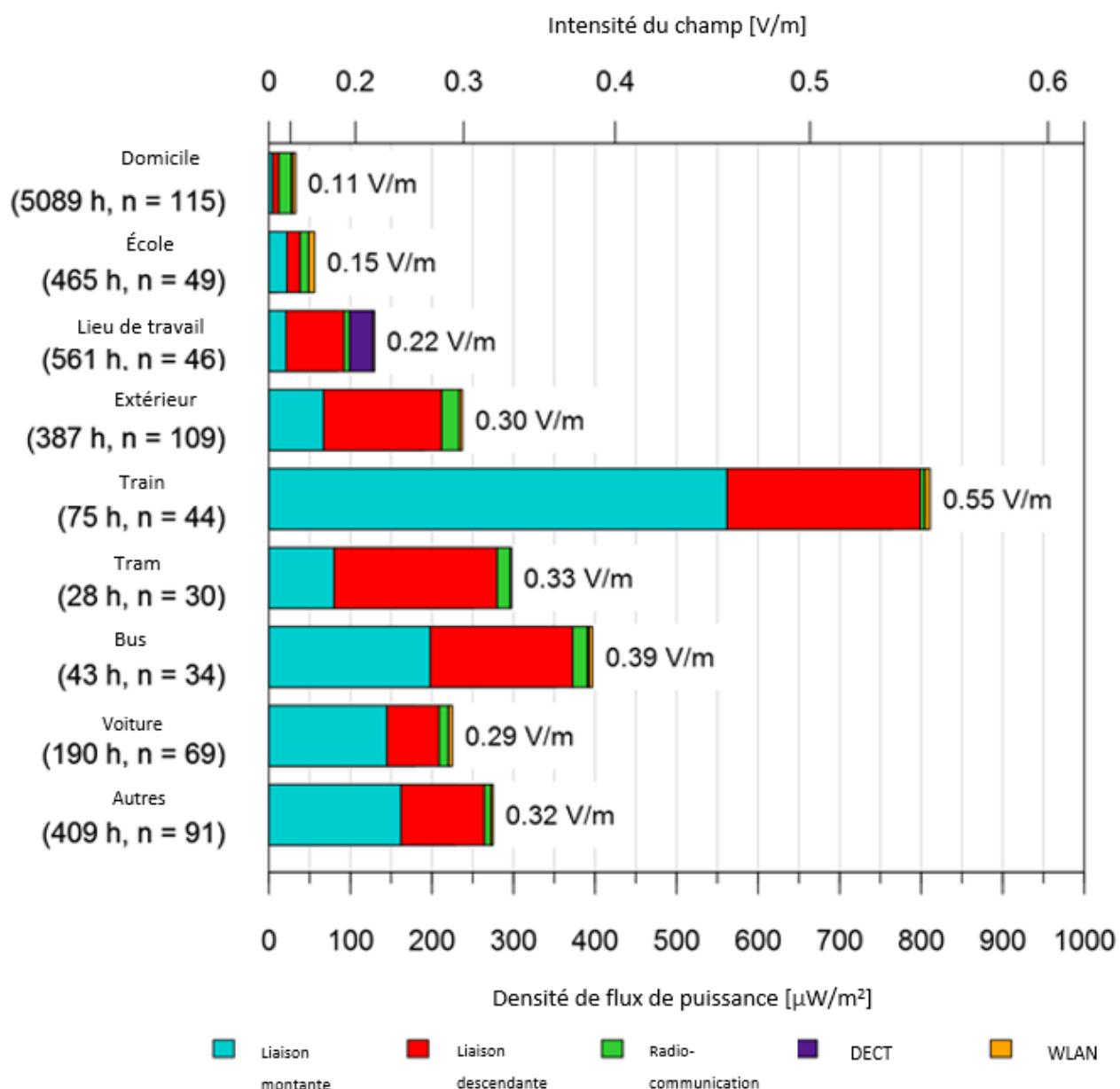


Figure 10 : Comparaison des valeurs moyennes d'exposition au RNI de haute fréquence mesurées sur les sujets participant à l'étude zurichoise. L'activité « Autres » se réfère à toutes les autres activités et à tous les autres emplacements.⁴² Exprimées en densité de flux de puissance, les valeurs pour les différentes sources de rayonnement s'additionnent de façon linéaire. Les valeurs d'intensité de champ électrique s'additionnent selon une somme

quadratique, qui ne peut pas être représentée dans un histogramme. Dans cette figure, les valeurs et l'échelle d'intensité de champ électrique se rapportent donc uniquement à l'exposition totale.

Pour établir une comparaison avec les valeurs limites, ce sont avant tout les valeurs maximales qui sont elles aussi pertinentes. Pour caractériser celles-ci, le Tableau 11 présente les 99^e percentiles moyens et le Tableau 12 les 99^e percentiles maximaux pour les différentes activités. Le 99^e percentile correspond à la valeur d'exposition qui est dépassée pendant 1 % du temps de mesure (p. ex. 14,4 minutes pour une mesure sur 24 heures).

Les valeurs les plus élevées ont été mesurées pour la liaison montante (rayonnement de téléphones mobiles), en particulier pour les déplacements en bus, en train et en tram. À l'école, l'utilisation occasionnelle du téléphone portable par les écoliers a engendré un 99^e percentile très élevé pour la liaison montante, bien que l'exposition moyenne à l'école ait été relativement faible.

Pour la liaison descendante (rayonnement d'antennes de téléphonie mobile), les 99^e percentiles maximaux mesurés s'élevaient à 5 V/m dans le train et étaient inférieurs à 3 V/m dans les autres cas (voir Tableau 12). En d'autres termes, en additionnant toutes les bandes de fréquences des stations de base de téléphonie mobile, l'exposition mesurée n'atteint que rarement l'intervalle de 4 à 6 V/m (intensité de champ électrique définie comme valeur limite de l'installation ou VLInst). Il faut ici mentionner que la VLInst se rapporte au rayonnement d'une seule antenne de téléphonie mobile et qu'elle s'applique uniquement dans les lieux à utilisation sensible.

Pour les rayonnements liés au DECT, à la radiocommunication et au réseau sans fil, les 99^e percentiles étaient généralement plus faibles que pour les stations de base de téléphonie mobile, sauf à la maison, où les 99^e percentiles moyens et maximaux pour le réseau sans fil et la téléphonie mobile étaient un peu plus élevés que pour la liaison descendante de la téléphonie mobile. Pour la téléphonie mobile, de grandes différences ont été constatées entre les 99^e percentiles moyens et maximaux.

Tableau 11 : 99^e percentiles moyens mesurés pour les sujets de l'étude zurichoise répartis selon différentes activités. Toutes les valeurs sont indiquées en V/m.⁴³

Emplacement	RNI total	Radiocommu-nication	Liaison des-cendante	Liaison mon-tante	DECT	Réseau sans fil
à la maison	0,22	0,14	0,11	0,07	0,05	0,12
à l'école	1,29	0,21	0,58	1,12	0,02	0,13
sur le lieu de travail	0,49	0,10	0,29	0,28	0,28	0,09
à l'extérieur	1,08	0,29	0,78	0,72	0,03	0,11
dans le bus	1,71	0,43	0,95	1,47	0,11	0,13
dans le train	2,23	0,14	1,23	1,98	0,03	0,15
dans le tram	1,19	0,20	0,85	0,89	0,04	0,07
en voiture	1,29	0,21	0,58	1,12	0,02	0,13
autres	1,15	0,12	0,62	0,90	0,05	0,12

Tableau 12 : 99^e percentiles maximaux mesurés pour les sujets de l'étude zurichoise répartis selon différentes activités. Toutes les valeurs sont indiquées en V/m.⁴⁴

Emplacement	RNI total	Radiocommu-nication	Liaison des-cendante	Liaison mon-tante	DECT	Réseau sans fil
à la maison	0,84	0,84	0,46	0,41	0,34	0,57
à l'école	6,04	0,96	2,52	5,01	0,05	0,54
sur le lieu de travail	1,83	0,31	1,09	1,25	1,76	0,42
à l'extérieur	5,00	1,13	1,85	5,00	0,15	0,60
dans le bus	5,01	2,11	2,35	5,00	0,44	0,44
dans le train	7,11	0,58	5,02	5,15	0,10	0,55
dans le tram	4,18	0,47	1,84	4,15	0,08	0,14
en voiture	6,04	0,96	2,52	5,01	0,05	0,54
autres	5,01	0,51	2,34	5,00	0,22	0,41

5.4.3 Résultats des mesures dans un microenvironnement

En effectuant des mesures dans un microenvironnement, les spécialistes peuvent réduire l'effet de masquage par le corps humain en plaçant l'appareil de mesure plus loin du corps. De telles mesures ont été réalisées dans différentes régions suisses entre mars et juillet 2014.⁴⁵ Ces mesures montrent que les principales sources d'exposition en plein air sont les stations de base de téléphonie mobile (voir Figure 11). Dans les transports publics, la liaison montante (émissions des téléphones mobiles utilisés par des tiers ; l'utilisation de son propre téléphone mobile n'est pas prise en compte pour ces mesures) constitue également une source importante. Plus une zone est urbanisée, plus la charge de RNI de haute fréquence a tendance à augmenter. Cette charge était par ailleurs relativement élevée dans les zones industrielles et dans les transports publics (surtout dans le tram). Dans les zones d'habitation rurales, l'exposition au RNI de haute fréquence était faible.

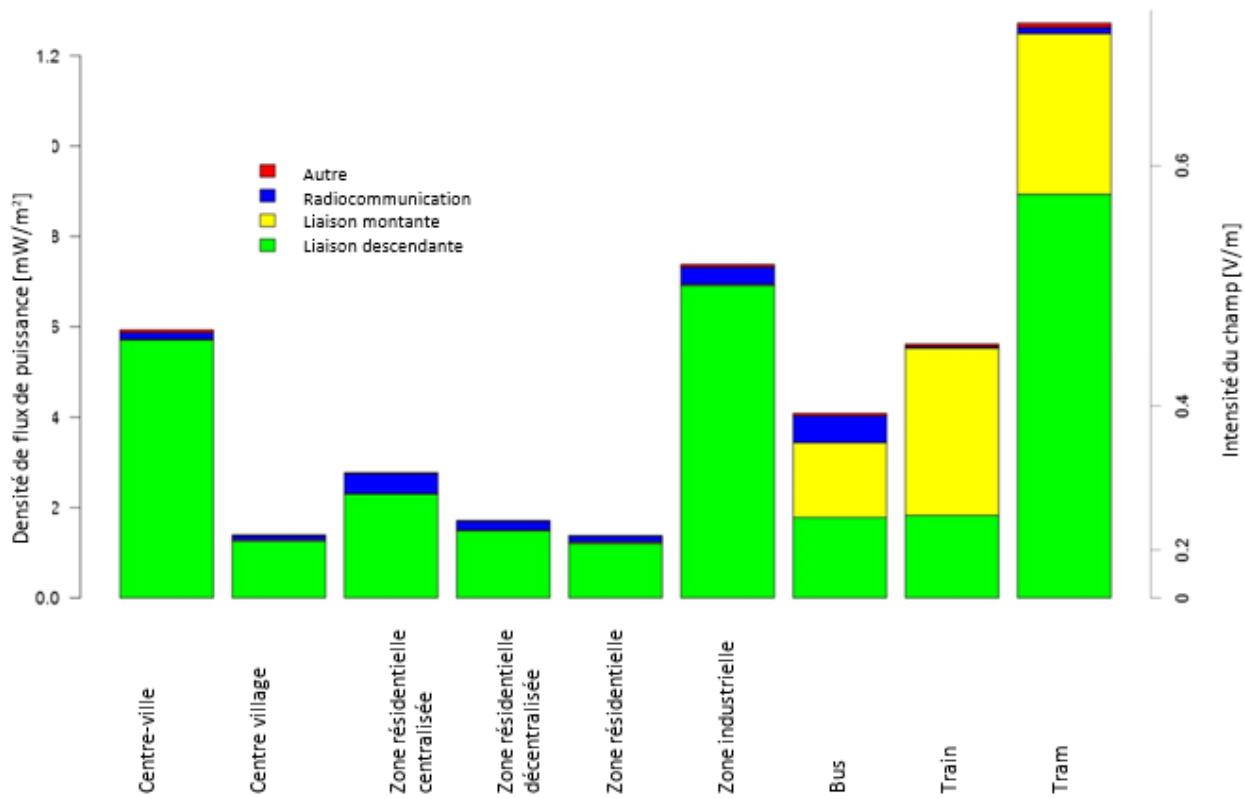


Figure 11 : Contribution des différentes applications de radiocommunication à l'exposition moyenne selon différents types de microenvironnements. Exprimées en densité de flux de puissance, les valeurs pour les différentes sources de rayonnement s'additionnent de façon linéaire. Les valeurs d'intensité de champ électrique s'additionnent selon une somme quadratique. Dans cette figure, l'échelle d'intensité de champ électrique se rapporte donc uniquement à l'exposition totale.

Les valeurs mesurées en Suisse sont comparables à celles des autres pays européens.⁴⁶ Toutefois, une étude utilisant des mesures dans des microenvironnements réalisée dans des pays hors de l'Europe (Éthiopie, Australie, Népal, Afrique du Sud et États-Unis) a rapporté des expositions au RNI de haute fréquence plus élevées qu'en Suisse.⁴⁷

5.4.4 Évolution temporelle de l'exposition au RNI de haute fréquence

Comme il existe peu de mesures de l'exposition au RNI de haute fréquence sur des sujets en Suisse, il n'est possible d'avancer des affirmations sur l'évolution temporelle de ce rayonnement que dans une mesure limitée. Deux études fournissent de premiers renseignements. En comparant les valeurs moyennes d'exposition au RNI de haute fréquence pour les adultes de l'étude zurichoise⁴⁸ d'une part avec les expositions mesurées dans l'étude QUALIFEX⁴⁹ d'autre part (réalisée en 2007-2008 avec des méthodes similaires), on constate que rien n'indique une augmentation de l'exposition au RNI de haute fréquence sur les sujets (voir Figure 12). Dans l'étude QUALIFEX, l'exposition au RNI de haute fréquence moyenne s'élevait à 0,22 V/m alors qu'elle était de 0,18 V/m dans l'étude zurichoise. Il y a une dizaine d'années, les téléphones sans fil DECT et les terminaux de téléphonie mobile en particulier représentaient des sources plus importantes qu'à l'époque de l'étude zurichoise. De plus, les nouvelles technologies (UMTS et LTE) disposent d'algorithmes de régulations de la puissance qui réduisent la puissance d'émission des terminaux par rapport à l'ancienne technologie GSM. Les nouvelles technologies ont par ailleurs rendu la transmission des données plus efficace pour les stations de base de téléphonie mobile de sorte que l'exposition n'a que faiblement augmenté entre 2008 et 2015, bien que la quantité de données transmises par téléphonie mobile en 2015 ait été environ 200 fois plus élevée qu'en 2008.

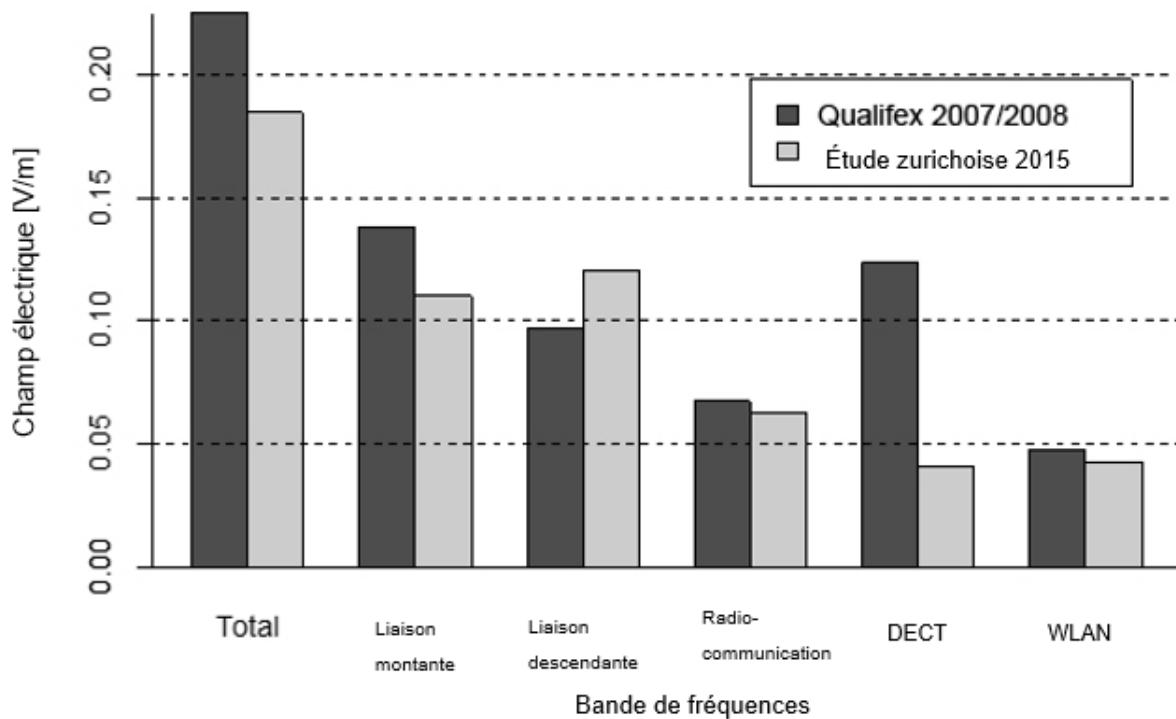


Figure 12 : Comparaison de l'exposition au RNI de haute fréquence telle que mesurée sur des sujets dans deux études suisses.⁵⁰ Champ électrique en fonction de six catégories de bandes de fréquence : de gauche à droite total, liaison montante, liaison descendante, radiocommunication, DECT et réseau sans fil.

5.4.5 Perspectives pour la 5G

Comme la 5G n'est pas répandue largement en Europe pour l'instant, il existe très peu d'études sur l'exposition à cette technologie. Au cours de sa première phase de développement, la 5G utilise des fréquences entre 3,5 et 3,8 GHz, dont le comportement d'absorption par le corps humain est comparable à celui des bandes de fréquence utilisées jusqu'alors pour la téléphonie mobile. Comme des études ont démontré que le type de modulation pouvait causer certains effets (p. ex. une modification des ondes cérébrales), il est légitime de s'interroger sur le type de modulation. À cet effet, la structure du signal 5G ne constitue pas une révolution, mais une simple évolution par rapport à l'interface aérienne de la technologie précédente qu'est la 4G. La nouvelle interface aérienne de la 5G (connue également sous le nom de « New Radio ») utilisera également la forme d'onde OFDM (« orthogonal frequency-division multiplexing »). Cela signifie que la structure du signal et la dynamique changera très peu par rapport à la précédente technologie LTE. De nombreuses autres technologies (p. ex. réseau sans fil, DVB-T et DAB) utilisent ce même type de modulation, à la différence près qu'elles emploient moins de sous-canaux ainsi que des spectres de fréquences bien moins larges. Il n'existe cependant pas d'études spécifiques sur le sujet.

Des simulations ont montré que, dans le cas d'une exposition à un champ éloigné, l'absorption des signaux de 3,5 GHz n'engendre pas des valeurs plus élevées pour le TAS « corps entier » par rapport aux technologies précédentes.⁵¹ Par comparaison avec des fréquences moins élevées, l'énergie est moins fortement absorbée par les organes internes du corps. Environ 94 % de l'énergie est absorbée par la peau et dans une zone située jusqu'à 2 cm sous l'épiderme. Les mesures sur des installations test ont ceci d'intéressant qu'elles ont montré que les densités de flux de puissance moyennes à une distance de 6 mètres seulement d'une antenne adaptative correspondent à 5 % des valeurs limites d'immission de l'ICNIRP.

Quelques travaux de modélisation se sont demandé quelle serait l'exposition maximale réaliste (définie comme le 95^e percentile) pour les antennes MIMO massives déployées pour la 5G par comparaison avec les valeurs maximales théoriques. Une étude de modélisation publiée en 2017 conclut que ces antennes adaptatives, qui rayonnent sur les usagers

pendant de courtes durées, présentent des moyennes temporelles moins élevées.⁵² Dans de nombreuses configurations réalistes mais conservatrices pour une antenne adaptative dans la gamme de fréquences de 3,5 GHz, les modèles ont calculé que, pour 95 % de toutes les situations, l'exposition moyenne sur six minutes en termes de densité de flux de puissance était de 15 % inférieure à la valeur maximale théorique (et de 39 % inférieure en termes d'intensité de champ électrique). Dans ses calculs, cette étude émet une hypothèse déterminante quant à la répartition géographique des usagers et à la quantité de données transmises aux usagers. La valeur maximale est calculée pour une densité d'usagers élevée au centre de la cellule radio et une charge de réseau d'environ 95 %. Elle s'élève à 22 % de la valeur théorique maximale en termes de densité de flux de puissance (et à 47 % en termes d'intensité de champ électrique). Les valeurs moyennes de longue durée, qui s'élèvent de 1,5 à 7 % (en termes de densité de flux de puissance), se situent largement en deçà de la valeur moyenne sur six minutes la plus élevée. Cependant, les anciens standards de communications mobiles présentent également des valeurs moyennes sur six minutes nettement inférieures aux modes d'exploitation maximaux (en stand-by, l'UMTS envoie à 16 % de puissance par rapport à la pleine charge ; pour la LTE, dans 90 % des cas où le réseau est très chargé, la puissance d'émission n'atteint même pas 12 % de la puissance maximale autorisée).

Une étude de 2018 est parvenue à un résultat comparable.⁵³ Celle-ci propose une nouvelle approche statistique pour les valeurs limites et révèle que la taille de la zone d'exclusion pour les antennes MIMO peut être réduite de moitié. La puissance d'émission moyenne sur six minutes a atteint 32 % de la puissance maximale dans 99 % des cas et 26 % de la puissance maximale dans 95 %.

5.5 Exposition liée à des appareils à proximité du corps

5.5.1 Technologies déjà appliquées

Lorsqu'une personne se sert d'un téléphone mobile, elle expose sa tête ou sa main à du RNI de haute fréquence dans la mesure où elle colle l'appareil contre son oreille pour téléphoner ou le tient dans sa main en utilisant des prestations de l'Internet mobile.⁵⁴ L'exposition liée à des terminaux (p. ex. téléphone mobile, ordinateur portable, tablette ou téléphone sans fil) dépend de plusieurs facteurs (voir ci-dessous).⁵⁵

- La durée d'utilisation : le rayonnement se produit en particulier lorsque l'appareil émet. Lorsque l'appareil est en mode veille ou reçoit des données, l'exposition est faible.
- La distance entre l'appareil et le corps : l'exposition diminue rapidement quand la distance s'accroît. Pour ce faire, on peut notamment utiliser, dans le cas des téléphones mobiles, des kits mains-libres (casques) et ainsi réduire l'exposition jusqu'à un facteur 100.
- La puissance d'émission : l'exposition est d'autant plus forte que la puissance d'émission est élevée. La puissance d'émission dépend à son tour des facteurs ci-après.
 - Les « propriétés d'émission » de l'appareil : le taux d'absorption spécifique TAS indique la quantité de rayonnement absorbé par le corps lorsque l'appareil est utilisé. L'exposition est d'autant plus faible que la valeur TAS est basse.
 - La technologie de téléphonie mobile : l'exposition est considérablement plus faible lorsqu'un usager téléphone à l'aide des technologies UMTS et LTE, plus récentes, par rapport à l'ancienne technologie GSM.
 - La qualité de la connexion : plus cette qualité est élevée, plus il sera « facile » pour le signal d'atteindre une station de base ou un point d'accès ; aussi, plus la distance entre l'appareil et la station de base est courte, moins l'appareil nécessite de puissance d'émission.

Les terminaux régulent leur puissance. Les puissances d'émission diffèrent donc considérablement en fonction de la qualité et du type de réseau. Quelques études empiriques sur les téléphones mobiles ont montré que les appels passés sur le réseau 3G (UMTS) au quotidien engendraient des émissions de 100 à 500 fois moins élevées que les appels du réseau 2G (GSM).⁵⁶ Le type d'utilisation du téléphone mobile (appels, données) influe également sur la puissance d'émission. Comme la qualité de la connexion est en général meilleure en milieu urbain, la puissance d'émission des téléphones mobiles y est en moyenne plus faible que dans les zones rurales.⁵⁷ Ces résultats ont été confirmés pour la Suisse par des

mesures effectuées en 2010.⁵⁸ La puissance d'émission d'un téléphone UMTS était plus de 100 fois plus faible que celle d'un téléphone GSM, et la puissance d'émission était d'autant plus faible que la qualité de la connexion était bonne.

Une étude réalisée en Suède pour les terminaux 4G a montré, sur la base de 300 000 mesures en sept jours, que la puissance d'émission était comparable à celle des terminaux 3G (UMTS), bien que la quantité de données transmises soit dix fois plus élevée.⁵⁹ Le 95^e percentile de la puissance d'émission s'élevait à 2,2 % de la puissance d'émission maximale en milieu rural et à moins de 1 % en milieu urbain. Les valeurs étaient encore plus faibles dans les immeubles de bureaux.

Une étude récente réalisée en Serbie s'est intéressée de manière systématique aux puissances d'émission des terminaux pour différentes utilisations dans différents réseaux (GSM, UMTS et réseau sans fil) pour des qualités de connexion bonnes ou mauvaises.⁶⁰ Elle a montré que, lorsque la réception est bonne, l'UMTS génère moins d'émissions que le GSM ou un réseau sans fil.

Une étude de modélisation française a conclu que la contribution du téléphone mobile de l'usager par rapport au champ éloigné est encore plus faible pour la 4G que pour la 3G.⁶¹ Cela s'explique par la haute vitesse de transmission des données. Les modèles sont basés sur des hypothèses réalistes quant au comportement de la population en matière d'appels et d'utilisation des données. Ils calculent notamment le TAS « corps entier » lorsqu'un usager tient son téléphone devant sa poitrine pour un échange de données. Les calculs ont montré que l'appareil de l'usager n'est responsable que de 25 % du total des immissions 4G absorbées.

5.5.2 Perspectives pour la 5G

Pour les téléphones mobiles 5G, les mesures TAS et les normes pertinentes pour ces mesures ont été utilisées pour la gamme de fréquences entre 30 MHz et 6 GHz⁶².

Il en va autrement pour les téléphones mobiles 5G qui utilisent des ondes millimétriques dont la fréquence est supérieure à 6 GHz (en général supérieure à 24 GHz). Cette autre gamme de fréquences devrait être introduite ultérieurement pour la 5G, au plus tôt en 2020 en Europe. La Suisse n'a quant à elle pas encore fixé de calendrier en la matière. De nouvelles techniques de mesure spécifiques ont été développées au cours des dernières années pour ces fréquences qui présentent un comportement de propagation sensiblement différent. Ces techniques permettent de mesurer les densités de flux de puissance pertinentes dans cette gamme de fréquences.⁶³ Jusqu'à présent, les études numériques portant sur l'absorption des ondes électromagnétiques par le corps humain ont dans la plupart des cas modélisé la peau comme un milieu absorbant homogène avec une certaine teneur en eau. Le plus souvent, elles n'ont pas tenu compte d'autres détails comme les différentes couches de la peau et des structures que celles-ci contiennent. Il s'agit de simplifications majeures, car la peau devrait être traitée comme un organe complexe. Plusieurs publications ont cependant relevé, sur la base d'un modèle représentant les différentes couches de peau, que les ondes millimétriques engendrent une augmentation de la température. C'est ainsi qu'une étude de 2018 a calculé une augmentation de la température de 0,1 °C liée à l'exposition à un téléphone mobile à 28 GHz.⁶⁴ Des chercheurs ont par ailleurs constaté qu'il est possible de procéder à des approximations en modélisant la peau sous forme de plusieurs couches.⁶⁵ Cette étude souligne l'importance des zones de moyennage pour respecter les valeurs limites en évitant une augmentation de la température de plus de 1 °C.

Une étude de 2018 estime cependant que de telles approximations sont de plus en plus insuffisantes.⁶⁶ Ses auteurs se sont intéressés à l'influence de la structure des glandes sudoripares sur l'absorption. Comme il n'existe pour l'instant aucunes données de mesure sur les tissus correspondants pour la gamme de fréquences concernée, les paramètres physiques des tissus ont été estimés sur la base de la teneur en eau des différentes couches. Les résultats de la modélisation révèlent que, pour les ondes millimétriques, la topologie et les structures fines de la peau peuvent avoir une influence significative sur l'absorption par la peau. Pour le TAS maximal local dans la peau, l'écart entre les valeurs prenant en compte les glandes sudoripares et celles ne le faisant pas est dans cette étude de l'ordre d'un facteur de 1000 à 10 000 (uniquement à partir d'une fréquence de 50 GHz cependant). Les glandes sudoripares en tant que microstructures présenteraient donc une capacité d'absorption considérablement plus élevée. Les résultats de cette étude devraient être vérifiés et confirmés par d'autres recherches. De plus, les paramètres des tissus devraient être définis par des mesures.

5.6 Comparaison de l'exposition pour les sources à proximité du corps et celles éloignées du corps

5.6.1 Généralités

On remarque des différences notoires entre les stations de base et les terminaux. Dans presque tous les cas, les téléphones mobiles et autres terminaux présentent une puissance d'émission bien plus faible qu'une station de base. Cependant, l'être humain est généralement bien plus exposé aux terminaux qu'il utilise (transmission de données et appels) qu'au rayonnement d'une station de base, si fort soit-il. Cela s'explique par le fait qu'un terminal se situe souvent à quelques millimètres seulement de la tête de son usager ou à quelques centimètres de son corps, alors que l'usager s'approche rarement à des distances inférieures à quelques mètres d'une antenne d'une station de base. Comme le corps est plus éloigné de la station de base, il est entièrement exposé à son rayonnement. Lors de l'utilisation d'un terminal en revanche, c'est uniquement la tête ou une partie du corps spécifique à proximité directe de l'appareil qui sont exposées.

À cela s'ajoute que pour les technologies 2G, 3G et 4G, une station de base envoie un signal de contrôle en continu, alors qu'un terminal ne le fait que lorsque l'usager téléphone ou transmet des données ; pour la 5G, une station de base diffuse moins de signaux de contrôle que pour les technologies plus anciennes. Si un terminal allumé n'est pas utilisé pour téléphoner ou transmettre des données (mode veille ou stand-by), il n'envoie qu'un signal bref toutes les quelques minutes pour indiquer dans quelle cellule il se trouve.

Tableau 13 : Comparaison de l'exposition liée aux stations de base (macrocellules) d'une part et aux terminaux d'autre part

Station de base	Terminal
• émetteur plus puissant le plus souvent	• émetteur faible
• plus grande distance avec les personnes	• grande, voire très grande proximité avec le corps (selon l'utilisation)
• exposition homogène de tout le corps	• exposition locale d'une partie du corps
• faible puissance absorbée	• forte puissance absorbée
• exposition permanente pour la 2G, 3G et 4G, mais variable au cours de la journée (selon l'utilisation)	• rayonnement uniquement s'il y a connexion (appels ou transmission de données)
• émission de rayonnement à grande échelle, exposant toutes les personnes dans les environs (ne s'applique pas aux antennes adaptatives)	• exposition de l'usager principalement et des personnes se trouvant à proximité

5.6.2 Comparaison des doses absorbées

Il n'est pas évident de comparer l'exposition entre les champs éloignés et les champs proches, ne serait-ce que du fait des différentes unités de mesure employées (voir *point 5.2*). A priori, on ne sait donc pas exactement quelle référence utiliser pour établir une comparaison. Dans le domaine de l'épidémiologie, une dose cumulative s'est imposée comme standard international. Celle-ci multiplie la valeur TAS par la durée d'exposition et s'exprime donc en J/kg. Il faut toutefois souligner que cette unité standard n'est pas appropriée pour décrire des effets se produisant uniquement au-dessus d'un seuil spécifique tels que des effets thermiques se manifestant seulement à partir d'une certaine température (voir notamment le TAS maximal au point 5.8). De manière générale, cette unité est conservatrice, dans le sens qu'elle inclut les parts de rayonnement liées à de faibles expositions. Elle ne prend cependant pas en compte les variations de champ dues aux modulations (p. ex. des pics de champ).

Une comparaison entre l'exposition dans les champs proches d'une part et éloignés d'autre part a été réalisée en 2013 pour la première fois.⁶⁷ L'étude correspondante a calculé des valeurs TAS pour le corps entier et pour différents organes dans plusieurs situations d'exposition à des champs éloignés et proches, puis a multiplié ces valeurs avec les durées d'exposition et d'utilisation correspondantes pour obtenir la dose cumulative par 24 heures. Les calculs se sont fondés sur les valeurs moyennes d'exposition au RNI de haute fréquence mesurées dans l'étude QUALIFEX⁶⁸. Ces valeurs sont présentées à la Figure 12 pour les sources de champs éloignés ; pour l'utilisation de téléphones mobiles et de téléphones

sans fil, elles s'élèvent à 26 min./semaine (données des exploitants) et à 62 min./semaine (autodéclarations). Deux scénarios ont été calculés : dans le premier scénario, l'usager utilise uniquement le réseau GSM, dans le second uniquement le réseau UMTS. Les calculs ont montré que, dans le scénario GSM, l'utilisation que fait l'usager de son propre téléphone est prédominante dans la dose cumulative « corps entier » (voir Tableau 14). Dans le scénario UMTS, la part de la téléphonie mobile est quant à elle faible et la part de rayonnement la plus importante provient des sources de champs éloignés et du téléphone sans fil.

Tableau 14 : Dose cumulative sur 24 heures (exprimée en mJ/kg) « corps entier » et sur des organes spécifiques pour l'exposition moyenne dans l'étude QUALIFEX.⁶⁹ (moyenne d'un total de 198 mesures à l'exposimètre)

Organe	Téléphone mobile GSM900	Téléphone mobile UMTS	Téléphone sans fil DECT	Somme des sources de champs éloignés	Rapport (champs proches/éloignés) pour le GSM	Rapport (champs proches/éloignés) pour l'UMTS
<i>Corps entier</i>	111	0,7	27	35	3	0,8
Cerveau (matière grise)	1002	5	197	42	24	5
Hypothalamus	1109	5	187	27	41	7
Nerfs	23	0,09	4	7	3	0,6
Moelle rouge	46	0,2	9	20	2	0,5
Testicules	0,7	0,001	0,03	76	1:100	1:2350

Ces calculs de doses ont été actualisés en 2015 et complétés pour d'autres scénarios (p. ex. utilisation d'Internet sur les smartphones).⁷⁰ La dose cumulative sur 24 heures de RNI de haute fréquence absorbé par le cerveau et le corps entier a été déterminée sur la base de l'exposition au RNI de haute fréquence mesurée pour un champ éloigné et l'utilisation des appareils de communication sans fil au cours de la période de mesure (autodéclaration des sujets). Des calculs ont été effectués pour différents scénarios :

- un scénario intermédiaire selon lequel 50 % des appels ont lieu sur le réseau GSM et 50 % sur le réseau UMTS ;
- un scénario selon lequel tous les appels ont lieu soit sur le réseau UMTS soit sur le réseau GSM ;
- un scénario d'analyse de sensibilité qui utilise, pour chaque bande de fréquence des stations de base de téléphonie mobile, la valeur la plus élevée mesurée sur un sujet au cours de la période de mesure.

Si l'on additionne les bandes de liaison descendante, on obtient pour le premier et le deuxième scénarios une intensité de champ moyenne de 0,11 V/m pour les immissions des stations de base de téléphonie mobile. Pour l'analyse de sensibilité, qui prend en compte la valeur la plus élevée de liaison descendante pour chaque sujet, on obtient, pour les cinq bandes de fréquence concernées, une valeur totale de 0,51 V/m pour la liaison descendante.

La Figure 13 illustre dans quelle mesure les différentes sources contribuent à la dose moyenne de RNI de haute fréquence pour le cerveau et le corps entier respectivement. Dans le cas du cerveau, 96,2 % de la dose totale proviennent des 594 mJ/kg/jour des sources de champs proches. La part la plus importante revient aux appels avec des téléphones mobiles, qui contribuent à la dose cumulative pour le cerveau à hauteur de 78 %. Les sources de champs éloignés ne représentent qu'une part infime de la dose pour le cerveau : 0,9 % pour la radiocommunication, 2,1 % pour la liaison descendante de la téléphonie mobile, 0,1 % pour le réseau sans fil, 0,1 % pour les stations de base des téléphones sans fil et 0,5 % pour les téléphones mobiles d'autres personnes. Pour l'exposition « corps entier », les sources de champs éloignés gagnent en importance, mais ne contribuent à la dose cumulative totale de 194 mJ/kg/jour qu'à hauteur de 10,2 %. Environ la moitié de la part liée aux champs éloignés provient des stations de base de téléphonie mobile (5 % de la dose

totale). Sont pertinents pour l'utilisation d'appareils, pour la dose cumulative « corps entier », les parts des appels avec des téléphones mobiles (33 %), mais aussi les appels avec des téléphones sans fil (8 %), la transmission de données avec des téléphones mobiles (19 %) ainsi que les ordinateurs fixes et portables et les tablettes (29 %).

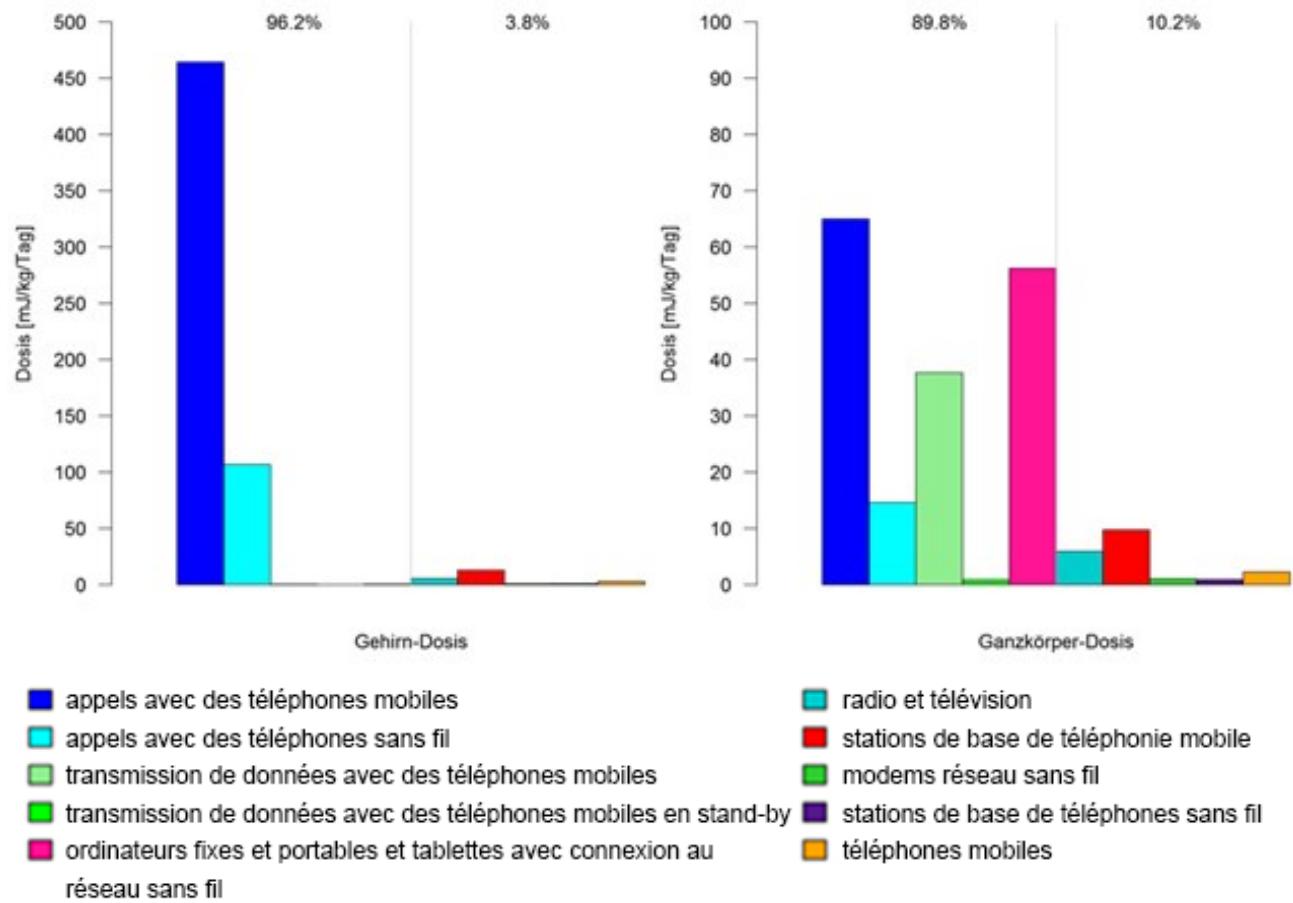


Figure 13 : Vue d'ensemble de la dose cumulative sur 24 heures de RNI de haute fréquence absorbé par le cerveau (à gauche) et par le corps entier (à droite) en émettant l'hypothèse que 50 % des appels avec des téléphones mobiles ont lieu sur le réseau GSM et 50 % sur le réseau UMTS. Les échelles pour le cerveau et pour le corps entier ne sont pas identiques. Les pourcentages expriment pour chaque cas la part de sources de RNI de haute fréquence à proximité du corps (liste de gauche) et à distance (liste de droite).

Comme les émissions sont considérablement plus faibles pour les appels avec des téléphones mobiles sur le réseau UMTS, les résultats sont totalement différents si l'on émet l'hypothèse que tous les appels ont lieu sur le réseau UMTS. Dans ce cas, la dose cumulative sur 24 heures de RNI de haute fréquence absorbé par le cerveau diminue pour atteindre 136 mJ/kg/jour et l'exposition « corps entier » 130 mJ/kg/jour. Les appels avec des téléphones mobiles ne contribuent alors à la dose absorbée par le cerveau qu'à hauteur de 5 % et la part la plus importante provient des appels passés avec des téléphones sans fil (78 %). Pour l'exposition « corps entier », les parts principales reviennent à la transmission de données avec des téléphones mobiles (29 %) ainsi qu'aux ordinateurs fixes et portables et tablettes (43 %). La part liée aux appels avec des téléphones mobiles ne correspond qu'à 0,7 % de la dose totale « corps entier ». Si, à l'inverse, on émet l'hypothèse que tous les appels passés avec des téléphones mobiles le sont sur le réseau GSM, la dose cumulative absorbée par le cerveau s'élève à 1052 mJ/kg/jour (part des appels avec des téléphones mobiles : 87 %) et la dose cumulative « corps entier » à 258 mJ/kg/jour (part des appels avec un téléphone mobile : 50 %).

Le troisième scénario évalue la part des stations de base de téléphonie mobile pour la dose cumulative de RNI de haute fréquence absorbé par le cerveau lorsque la valeur maximale de 0,51 V/m est utilisée pour la liaison descendante. Comme ces valeurs maximales proviennent de plusieurs sujets, ce scénario représente véritablement le pire scénario possible.

Celui-ci ne s'est pas produit dans les populations étudiées. Ce scénario a lui aussi émis l'hypothèse que 50 % des appels avec des téléphones mobiles étaient passés sur le réseau GSM et 50 % sur le réseau UMTS. Dans ce scénario le plus pessimiste qui soit, la dose cumulative absorbée par le cerveau s'élève à 817 mJ/kg/jour et la dose « corps entier » 333 mJ/kg/jour. L'utilisation quotidienne d'un téléphone mobile pendant 5,2 min./jour contribue cependant toujours plus à la dose absorbée par le cerveau que l'exposition liée à la liaison descendante (57 % contre 29 %). Presque la moitié de l'exposition « corps entier » (44 %) est due à la liaison descendante. Cette proportion est comparable à la part des appels avec des téléphones mobiles et de la transmission de données avec des téléphones mobiles, des ordinateurs fixes et portables et des tablettes (48 %). Ce scénario montre que, même dans les conditions les plus défavorables et pour une utilisation moyenne des appareils de communication, une part considérable de la dose cumulative absorbée par le cerveau (52 %) provient de l'utilisation de l'appareil du sujet.

Il faut souligner que ces calculs moyens de doses sont soumis à de grandes incertitudes et pourraient, dans des cas isolés, donner des résultats sensiblement différents. Peu de données existent sur la puissance d'émission typique des différents appareils et sur la distance entre le corps et l'appareil dans des situations d'utilisation communes. Ces deux paramètres sont de toute première importance et peuvent considérablement évoluer selon les développements techniques. L'étude GERoNiMO⁷¹ a mis à jour et amélioré le modèle de calcul de doses, mais celui-ci n'est pas encore disponible librement. Il faut par ailleurs tenir compte du fait que les données concernant l'absorption du RNI de haute fréquence ne révèlent rien sur d'éventuels effets non thermiques.

5.7 Facteurs ayant une influence sur l'exposition et possibilités de minimisation

5.7.1 Facteurs ayant une influence sur l'exposition aux stations de base

D'une manière générale, l'exposition à proximité d'une station de base dépend des facteurs suivants :

- puissance d'émission apparente de l'antenne ;
- orientation du rayonnement de l'antenne (direction d'émission / diagramme d'antenne) ;
- distance par rapport à l'antenne ;
- atténuation par les murs et les toitures (amortissement par le bâtiment) ; atténuation atmosphérique ;
- volume de données transmises (trafic de données).

Dès lors que ces facteurs sont connus pour une situation concrète, il est possible de calculer l'immission, c'est-à-dire l'intensité de champ électrique en volts par mètre (V/m), provoquée en un lieu déterminé dans les environs par une antenne de téléphonie mobile. Pour le calcul des immissions, on utilise la puissance apparente rayonnée (« effective radiated power ou equivalent radiated power », ERP) exprimée en watts (W). Celle-ci décrit la puissance d'émission dans la direction principale de propagation et tient compte de l'effet focalisateur de l'antenne. L'ERP ne doit pas être confondue avec la puissance d'émission effective totale qui est bien plus basse dans le cas des antennes directionnelles.

Plus la puissance d'émission apparente d'une installation est élevée, plus l'exposition en un lieu déterminé dans les environs est grande. Avec l'exposition exprimée comme l'intensité de champ électrique, la relation entre la puissance d'émission et l'exposition n'est toutefois pas linéaire : lorsque la puissance d'émission double, l'intensité de champ électrique n'augmente que du facteur $\sqrt{2}$, c'est-à-dire de 41 % ; lorsque la puissance triple, l'intensité de champ électrique est multipliée par $\sqrt{3}$, ce qui représente une hausse de 73 %.

Afin d'arriver à la couverture voulue, on utilise en téléphonie mobile des antennes spéciales, ayant des caractéristiques directionnelles horizontale et verticale différentes. Cela signifie que ces antennes n'émettent pas de la même manière dans toutes les directions, mais qu'elles rassemblent les signaux en un faisceau et le dirigent dans la direction principale de propagation choisie. En dehors du faisceau, le rayonnement ne disparaît pas totalement mais il est nettement estompé. Toutefois, à côté du faisceau principal apparaissent des « lobes secondaires » dans lesquels le rayonnement est également plus élevé. Le long de la direction principale de propagation, l'intensité de champ électrique diminue de moitié lorsque la distance double. Au sol, l'évolution est plus complexe. Ainsi, les immissions à proximité d'une antenne proviennent en premier lieu des lobes secondaires.

Si les signaux de téléphonie mobile rencontrent l'enveloppe d'un bâtiment, celle-ci en réfléchit une partie et en absorbe une autre. Dans le bâtiment, ces signaux sont donc atténus. Ce sont notamment les ouvrages en béton (murs et toitures), les façades en métal et les fenêtres isolantes qui amortissent fortement les signaux. En revanche, les murs, les toits de tuiles et en bois ou les vitres de fenêtre sans revêtement isolant ne les diminuent guère.

L'exposition à proximité d'une installation de téléphonie mobile varie également au cours de la journée en fonction du volume de conversations et de données transmises ainsi que du nombre d'utilisateurs. Outre les canaux de contrôle ou de signalisation qui émettent en permanence pour la 2G, la 3G et la 4G, des canaux de trafic supplémentaires sont activés en fonction des besoins. L'exposition est alors plus élevée pendant la durée de leur activation. Les variations diurnes des immissions reflètent le comportement des utilisateurs d'appareils mobiles desservis par la station de base. En journée, la demande de données est généralement croissante, d'où l'activation de canaux de trafic. En soirée, on observe de nouveau un pic. Enfin, pendant la nuit, les quantités de données transmises diminuent, de même que les immissions.

5.7.2 Minimisation des immissions provoquées par les stations de base

Il est possible de réduire les immissions provoquées par les stations de base en influençant différents facteurs :

- puissance d'émission : la puissance émettrice d'une antenne doit être suffisante pour que les signaux à transmettre atteignent aussi les terminaux situés en bordure de la cellule. Elle ne doit cependant pas être trop intense afin de ne pas perturber les signaux d'autres cellules. Une station de base requiert d'autant moins de puissance d'émission que la cellule à couvrir est petite, étant donné que les terminaux à desservir y sont plus proches de la station de base que dans une très grande cellule. Néanmoins, un signal avec une largeur de bande plus élevée, par exemple 100 MHz dans la bande de 3,5 GHz, a besoin de plus de puissance même si une seule et unique microcellule est desservie.
- Souvent, l'intensité de champ nécessaire à la couverture est le seul critère retenu pour la desserte par la téléphonie mobile, le terme « couverture » signifiant le fait qu'une communication de téléphonie mobile soit en principe possible. Le critère de capacité (et, donc, le volume de données disponibles que doivent se partager tous les utilisateurs actifs dans une cellule) est souvent négligé bien qu'il joue un rôle crucial dans la planification de la téléphonie mobile. En particulier, les débits de données élevés visés avec la 5G ne peuvent être atteints qu'en augmentant la largeur de bande utilisée.
- capacité : à capacité constante (volume de données transmissible), un réseau à mailles plus fines qui possède des émetteurs de faible puissance mais une technologie sans fil et une largeur de bande identiques requiert globalement une puissance d'émission moindre et provoque moins d'immissions qu'un réseau peu dense comptant des émetteurs puissants.⁷² Mais cela ne révèle en rien l'exposition effective, étant donné qu'elle dépend aussi de la distance par rapport aux émetteurs.
- À immission moyenne constante, un réseau à mailles plus fines qui possède des macrocellules plus petites (des émetteurs de faible puissance mais une technologie sans fil et une largeur de bande identiques) a globalement une capacité plus élevée qu'un réseau moins dense comptant des antennes puissantes.
- distance par rapport à l'antenne (microcellulaire) : à proximité immédiate des antennes microcellulaires, c.-à-d. des antennes dont la puissance d'émission (ERP) est inférieure à 6 watts, l'immission peut être aussi importante qu'aux alentours d'une installation macrocellulaire.⁷³ Aussi est-il primordial que, dans les réseaux microcellulaires – en particulier en intérieur –, les antennes soient stratégiquement positionnées là où personne ne reste longtemps à proximité immédiate. Les antennes microcellulaires risquent alors de ne pas pouvoir être placées de manière optimale pour le réseau. Dans ce cas, elles ne sont pas en mesure d'atteindre pleinement les objectifs de desserte (couverture, capacité, etc.), et des installations supplémentaires sont nécessaires pour combler les lacunes.
- Cependant, en termes d'aménagement des réseaux, l'utilisation de microcellules ne peut être efficace que si elles sont situées là où les utilisateurs se trouvent ; en effet, plus la liaison radio est courte et dénuée d'obstacles atténuant les signaux, meilleurs sont la communication et le débit de données du terminal.

- trafic de données (signal de contrôle) : une partie des immissions pourrait être réduite si, à la place de plusieurs réseaux de téléphonie mobile indépendants, un réseau unifié était exploité. En particulier, la signalisation ne devrait plus se produire qu'une seule fois par surface, et non pas de manière indépendante pour chaque réseau. Dans le cas de la nouvelle technologie 5G, ces signaux de contrôle ont gagné en légèreté et en flexibilité. Elle en émettra donc nettement moins que son prédecesseur, le système LTE.
- nouvelles technologies d'antennes : tandis que les antennes actuelles émettent, sur toute la cellule, les signaux à transmettre pour un utilisateur, de nouvelles technologies telles que les antennes adaptatives (« *smart antennas* », « *beam forming antennas* », etc.) permettent d'envoyer les signaux uniquement dans les directions où ils sont demandés. Celles où il n'y a aucun terminal sont donc moins exposées. Dans l'ensemble, il faut s'attendre à ce que l'exposition moyenne aux antennes adaptatives sur la surface (à volume de données égal) soit inférieure à l'exposition aux antennes statiques traditionnelles.⁷⁴

5.7.3 Facteurs ayant une influence sur l'exposition aux terminaux

Seule une partie des facteurs déterminants l'exposition à un terminal évoqués au point 5.5.1 a un lien avec la structure du réseau. En la matière, la valeur TAS maximale et la distance entre l'appareil et le corps humain ne jouent aucun rôle, c'est pourquoi ces facteurs ne sont plus inclus dans les considérations suivantes.

Pour qu'un réseau contribue à réduire les immissions provoquées par les terminaux, la technologie de téléphonie mobile et la qualité de la communication sont essentielles.

- Technologie de téléphonie mobile : le point 5.5.1 explique que les téléphones mobiles UMTS et LTE règlent leur puissance bien plus efficacement que les appareils GSM, ce qui réduit l'exposition.
- S'agissant de l'utilisation de la 5G dans la bande des 3,5 GHz, on peut s'attendre à un comportement semblable à celui observé avec LTE.
- Qualité de la communication : lorsque la communication radio entre l'appareil mobile et la station de base est de bonne qualité, la puissance d'émission du terminal et, partant, l'exposition de l'utilisateur sont faibles. Plus la liaison radio est courte et dénuée d'obstacles atténuant les signaux, meilleure est la qualité de la communication. L'idée parfois répandue sur la qualité de la communication selon laquelle « plus la puissance d'émission de la station de base est forte, plus la puissance d'émission du terminal est faible » est donc fausse, il importe uniquement qu'un signal puisse bien passer du téléphone mobile à la station de base.

5.7.4 Minimisation des immissions provoquées par les terminaux

Pour économiser la batterie, un téléphone mobile cherche à émettre avec la puissance la plus basse possible. À cet effet, la puissance d'émission du terminal est réglée par la station de base de manière à ce qu'elle puisse recevoir ses signaux avec une qualité suffisante.⁷⁵ Pour qu'une station de base puisse recevoir avec une qualité suffisante les signaux du terminal qui émet avec une puissance minimale, celui-ci doit se situer le plus près possible de la station de base (liaison radio courte) et, dans la mesure du possible, aucun obstacle atténuant les signaux ne doit entraver cette liaison radio (p. ex. enveloppes de bâtiments ou carrosseries de véhicules).

Par rapport aux liaisons radio longues avec une forte atténuation des signaux, les liaisons radio courtes avec une faible atténuation des signaux ont aussi l'avantage de transmettre des volumes de données plus importants. Cela raccourcit la durée d'émission du terminal, ce qui se traduit par une diminution de l'exposition.

Comme la sensibilité des récepteurs des stations de base influence la puissance d'émission du terminal, il serait possible de gagner encore en efficience (et donc de réduire davantage l'exposition) en utilisant une électronique de meilleure qualité dans les terminaux et les stations de base.

5.7.5 Possibilités de minimisation de l'exposition de la population lors de l'extension du réseau

Au niveau de la structure du réseau et de son extension également, il ressort des réflexions précédentes des possibilités de minimisation de l'exposition de la population aux stations de base et aux terminaux.

Comme expliqué ci-avant, les terminaux et les stations de base requièrent d'autant moins de puissance d'émission que la liaison radio est courte et dénuée d'obstacles atténuant les signaux. Par conséquent, la meilleure solution pour réduire les immissions provoquées par la téléphonie mobile est que les signaux soient amenés le plus près possible des terminaux par le biais de réseaux de fibre optique (ou par faisceaux hertziens pour environ les deux tiers des ménages et entreprises suisses) et que la distance qui reste à parcourir par voie aérienne soit, dans la mesure du possible, courte et dépourvue d'obstacles.

Aussi le meilleur réseau pour réduire les immissions dues au rayonnement de téléphonie mobile – du moins en théorie – est-il un réseau le plus dense possible avec des émetteurs de faible puissance mais des installations de grande capacité. Pour une capacité donnée, les réseaux très denses provoquent en moyenne des immissions plus faibles que les réseaux macrocellulaires.

Pour accroître la capacité, il faudrait augmenter la puissance des cellules ou les densifier davantage. Du point de vue de la technologie radio, il faut noter qu'une forte densification peut engendrer de graves problèmes d'interférences qui ont une incidence négative sur la capacité des réseaux. Il en va de même pour les hausses de puissance dans les macrocellules.

Afin que les puissances d'émission puissent être maintenues à un faible niveau tant en liaison ascendante qu'en liaison descendante, les signaux de téléphonie mobile ne doivent rencontrer si possible aucun obstacle (enveloppes de bâtiments ou carrosseries de véhicules). Cela est possible grâce à une séparation des dessertes intérieure et extérieure. La physique pose certaines limites en la matière : il sera difficile de procéder à une telle séparation, en particulier pour les basses fréquences qui pénètrent facilement à l'intérieur, tant que toutes les enveloppes de bâtiments et les fenêtres ne seront pas blindées. Pour des raisons qui relèvent purement de la technologie radio, une parfaite séparation des dessertes intérieure et extérieure n'est pas souhaitable étant donné la probabilité accrue d'interruption de communication dans la zone de transition. En outre, dans certains cas, une desserte intérieure depuis l'extérieur ou une desserte intérieure garantie est indispensable ; par exemple, les organisations de soins à domicile se servent de tablettes et ont besoin d'un bon réseau de téléphonie mobile.

Pour séparer la desserte intérieure de la desserte extérieure, les espaces intérieurs peuvent être desservis par des antennes intérieures (femtocellules, picocellules, WLAN, réémetteurs). Le cas échéant, chaque grande pièce d'un bâtiment nécessite une antenne correspondante. Au vu de la durée d'utilisation typique, on estime qu'une majeure partie des données à transmettre par mobile relèvent d'une utilisation quasi-stationnaire à l'intérieur de bâtiments⁷⁶, ce qui rend une desserte intérieure depuis l'intérieur encore plus appropriée.

La Suisse compte quelque 2,5 millions de bâtiments. Si la majorité des bâtiments devait être desservie par des installations intérieures dédiées, la pose de telles antennes (parfois dans plusieurs pièces d'un bâtiment) serait très coûteuse.

S'agissant des émetteurs intérieurs notamment, il est judicieux de les positionner correctement (bonne couverture des pièces, distance minimale par rapport aux personnes). En effet, même des émetteurs peu puissants peuvent augmenter l'exposition à de faibles distances.

Dans le cas où des façades de bâtiments ou des carrosseries de véhicules doivent être franchies, l'exposition peut être réduite si ces enveloppes sont le plus perméables possible au rayonnement de téléphonie mobile. C'est pour cela que, depuis peu, les wagons de train sont équipés de fenêtres qui offrent une isolation thermique mais dont le revêtement métallique est perforé de manière à atténuer moins fortement les signaux de téléphonie mobile. Cette méthode est moins adaptée aux bâtiments étant donné que, de toute façon, les autres structures de bâtiment amortissent généralement moins que les vitres dotées d'un revêtement. Un traitement au laser et donc une meilleure perméabilité du vitrage n'améliorent ainsi la transmission des signaux que si les façades sont en métal ou les murs en béton armé et, ce, seulement dans la pièce située juste derrière la fenêtre.

En outre, à l'instar des antennes adaptatives, les possibilités offertes par les nouvelles technologies peuvent être exploitées pour réduire les immissions.⁷⁷ Les technologies sans fil plus efficientes ont par ailleurs besoin de moins d'énergie

par volume de données transmis. Aussi les services sans fil obsolètes et inefficaces tels que la 2G devraient-ils être remplacés au plus vite par des systèmes modernes.

5.8 Modélisation de l'exposition aux stations de base et terminaux 5G

5.8.1 Démarche

Les précédentes réflexions fondamentales sont complétées par les résultats d'une étude mandatée par l'OFEV et menée par la fondation IT'IS Foundation associée à l'EPF de Zurich, dans le cadre de l'élaboration du présent rapport. Un compte rendu détaillé de cette étude est disponible en langue anglaise.⁷⁸ Quelques points essentiels sont résumés ci-après.

L'étude avait pour but de modéliser l'exposition globale de la population à la 5G avec différentes structures de réseaux et selon divers scénarios d'utilisation. De la détermination des différents facteurs ayant une influence sur l'exposition globale peuvent être déduites des mesures ciblées visant à minimiser l'exposition de la population à la téléphonie mobile.

L'exposition globale calculée ici correspond à la combinaison de l'exposition aux stations de base pour la téléphonie mobile, au terminal personnel et aux terminaux des utilisateurs alentour. Le calcul a porté sur la valeur TAS maximale sur le corps humain et non pas sur la dose cumulée corps entier par 24 heures comme au point 5.6. La valeur TAS maximale est révélatrice des conséquences qui n'apparaissent qu'en cas de dépassement d'un seuil (voir point 5.6.1).

Compte tenu du peu de temps disponible pour mener l'étude, il n'a pas été possible de réaliser des simulations exhaustives tenant compte des modélisations de la propagation et de l'exposition. Aussi la méthode de simulation Monte Carlo a-t-elle été adoptée. Comme il n'existe pas encore de données fiables sur le réseau 5G dans les conditions réelles d'exploitation, les données ont été extrapolées à partir du réseau LTE.

Selon les indications des opérateurs de téléphonie mobile concernant le réseau 5G, dans la bande de fréquences de 3,5 GHz, un débit de transmission de 100 Mbit/s est prévu partout (soit 10 à 20 fois plus élevé qu'avec LTE), avec une valeur de pointe atteignant 3 Gbit/s. Il est à noter que cette étude fournit non pas des informations absolues sur l'exposition, mais une comparaison relative de l'exposition dans les différents scénarios de structures de réseaux et de comportements d'utilisation. Puisqu'il est probable que la 5G soit déployée en Suisse avec une topologie de réseau hybride (réseau associant macro- et microcellules), l'étude s'est concentrée sur l'influence sur l'exposition globale qu'exerce la part des microcellules dans le réseau hybride (niveau de desserte intérieure).

5.8.2 Résultats

Dans la première partie de l'étude, l'exposition du cerveau au téléphone mobile personnel a été analysée avec des fréquences comprises entre 700 MHz et 3,6 GHz, sur différents modèles de têtes. Il en est ressorti que :

- plus la fréquence est élevée, moins les champs pénètrent en profondeur dans la tête ;
- avec des fréquences de 3,6 GHz, le cerveau est environ six fois moins exposé qu'avec des fréquences inférieures à 1 GHz et environ deux fois moins qu'avec des fréquences comprises entre 1,8 et 2 GHz ;
- toutefois avec des fréquences de 3,6 GHz, les tissus qui se trouvent à proximité des surfaces corporelles exposées (peau, yeux, etc.) peuvent être légèrement plus exposés ;
- la valeur de pointe locale sur la surface extérieure de la matière grise du système nerveux central demeure constante sur toutes les fréquences.

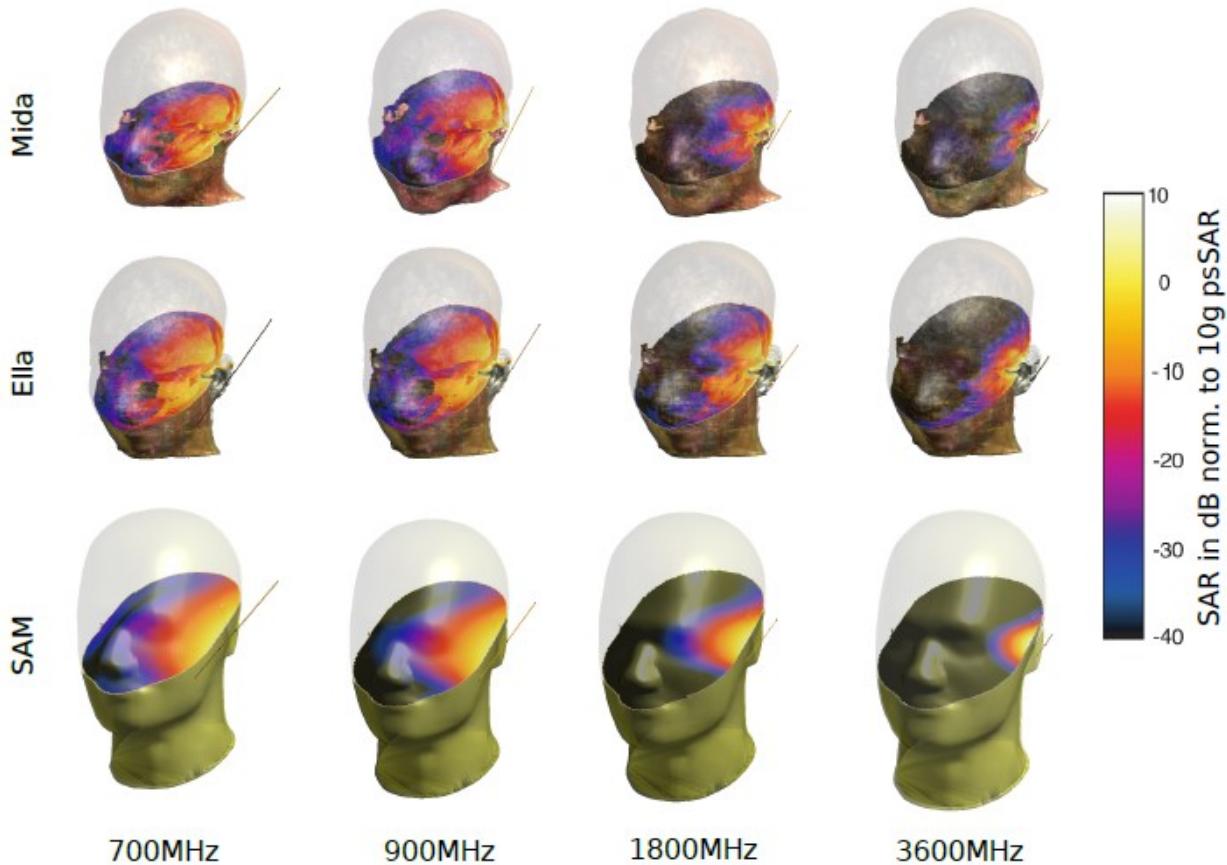


Figure 14 : Répartition du taux d'absorption spécifique dans les différents modèles de la tête humaine avec des fréquences comprises entre 700 MHz et 3,6 GHz. Il est exprimé en dB normé à 10 g psSAR. Plus la fréquence est élevée, moins les champs pénètrent en profondeur dans la tête. La première ligne présente le modèle de tête et de nuque humaines MIDA, multimodal, détaillé et anatomique ; la seconde, « Ella », le modèle de tête d'une femme ; et la dernière, le fantôme homogène du mannequin anthropomorphe spécifique qui sert aussi pour les mesures standardisées de la valeur TAS.

La seconde partie de l'étude a porté sur l'analyse de l'influence de la structure du réseau et du comportement d'utilisation sur l'exposition globale de la population à la téléphonie mobile. Dans plus de 200 scénarios d'exposition, les conséquences sur l'exposition globale qu'ont les différentes structures de réseaux (obtenues par un changement de taille des cellules et une amélioration de la desserte des espaces intérieurs par des microcellules), ainsi que le comportement d'utilisation personnel et des utilisateurs alentour ont fait l'objet de calculs. Il en est ressorti que :

- chez tous les utilisateurs de téléphonie mobile, l'exposition au terminal personnel est dominante (comme c'est déjà le cas avec les fréquences de téléphonie mobile actuelles) ;
- par rapport aux non-utilisateurs, l'exposition est :
 - 4 à 10 fois supérieure chez les personnes qui utilisent peu leur terminal (100 Mo de données téléchargées par jour) ;
 - 20 à 300 fois supérieure chez les personnes qui utilisent modérément leur terminal (1 Go de données téléchargées par jour) ;
 - 300 à 10 000 fois supérieure chez les personnes qui utilisent intensivement leur terminal (10 Go de données téléchargées par jour) ;
- en moyenne, l'exposition des non-utilisateurs est inférieure d'un facteur 1000 à celle des utilisateurs ;
- l'exposition maximale d'un non-utilisateur est déterminée non pas par une station de base, mais par le terminal d'un utilisateur situé à proximité. Dans le scénario urbain, l'influence des utilisateurs environnants est quatre fois

plus importante que celle exercée par la station de base. Mais s'agissant de la dose cumulée corps entier par 24 heures, les immissions des stations de base sont dominantes ;

- la réduction du rayon des cellules diminue l'exposition globale des utilisateurs d'un facteur allant de 2 à 10. Toutefois, chez les non-utilisateurs, on observe une légère augmentation de facteur 1,6, tout en restant dans un faible niveau d'exposition ;
- l'amélioration de la desserte des espaces intérieurs par des microcellules se traduit, pour tous les utilisateurs, par une exposition réduite d'un facteur 10. Chez les utilisateurs intensifs, ce facteur est même de 600 si les espaces intérieurs sont uniquement couverts par des microcellules ;
- en présence de microcellules supplémentaires, l'exposition des non-utilisateurs augmente d'un facteur allant de 2 à 10, tout en restant inférieure d'un facteur allant de 10 à 1000 à celle des utilisateurs ;
- l'exposition globale est réduite jusqu'à un facteur 3 grâce à la plus grande efficacité spectrale de la nouvelle technologie.

Les résultats de l'étude sont limités en raison, d'une part, des données qui étaient disponibles concernant les réseaux et, d'autre part, des hypothèses qui ont été posées. Les aspects suivants n'ont pas été pris en considération dans l'étude :

- l'effet des antennes adaptatives pour les stations de base (MIMO massif) et des systèmes MIMO multi-utilisateurs pour les appareils de téléphonie mobile ;
- les autres voies de transmission des données (p. ex. utilisation du WLAN) ;
- les ondes millimétriques (comme celles-ci ne seront pas utilisées dans un avenir proche en Suisse pour la téléphonie mobile) ;
- l'exposition à d'autres sources (WLAN, radiodiffusion ou autres applications de radiocommunication) ;
- la réduction de l'exposition des non-utilisateurs grâce au positionnement stratégique des antennes microcellulaires dans l'espace ou à leur désactivation en cas de non-utilisation ;
- la présence de trois opérateurs (la modélisation n'a porté que sur un seul opérateur) ;
- les conséquences d'une desserte non optimale dans les espaces intérieurs.

Pour interpréter les résultats, il faut aussi noter les points suivants :

- il s'agit d'une hypothèse du pire scénario qui devrait rarement se produire au quotidien (95^e percentile des expositions maximales aux sources modélisées au même moment au même endroit) ;
- le degré d'exposition ne permet pas de se prononcer sur les conséquences sanitaires car aucune distinction n'est opérée entre les parties du corps exposées (tête, torse, extrémités).

L'exposition à l'appareil mobile personnel dépend fortement de la partie du corps concernée par son utilisation (p. ex. au niveau de la tête, dans la main, etc.). Dans l'étude, c'est la valeur TAS moyenne dans toutes les positions d'utilisation possibles qui a été utilisée. Ainsi, aucune conclusion ne peut être tirée sur l'exposition effective des organes sensibles comme le cerveau humain. L'exposition au terminal personnel dépend aussi beaucoup de la distance par rapport au corps pendant l'utilisation. Un éloignement (p. ex. le positionnement de l'appareil sur le bureau face à l'utilisateur) permet de réduire l'exposition d'un facteur nettement supérieur à 10.

En résumé, les résultats de l'étude montrent que l'exposition des utilisateurs actifs de la téléphonie mobile est majoritairement due à leur propre appareil mobile. Mais, outre le comportement d'utilisation personnel, l'exposition globale est étroitement liée à l'infrastructure du réseau. De manière générale, un réseau de téléphonie mobile qui limite la perte de puissance due à la distance grâce à des cellules plus petites et à une meilleure couverture intérieure contribuera à réduire l'exposition globale des utilisateurs. Une densification supplémentaire entraînera toutefois une augmentation de l'exposition des non-utilisateurs.

6 Effets sur la santé

6.1 Remarques liminaires

L'ORNI a été promulguée en 2000 conformément à la loi sur la protection de l'environnement. Celle-ci dispose que les valeurs limites d'immission doivent être fixées en accord avec l'état actuel des connaissances scientifiques et empiriques, qu'il convient de tenir compte des catégories de personnes particulièrement sensibles et de s'assurer que les immissions ne sont ni nocives ni préjudiciables au bien-être de la population. Les incertitudes liées aux effets biologiques et aux conséquences potentielles à long terme du RNI inférieur à la valeur limite d'immission ont conduit à adopter une limitation des émissions (valeur limite de l'installation) fondée sur le principe de précaution.

Lorsque l'ORNI a été rédigée, à la fin des années 1990, les recherches menées sur les effets sanitaires du rayonnement non ionisant de haute fréquence (RNI de haute fréquence) étaient nettement moins poussées qu'aujourd'hui. Le rapport « Begrenzung der Immissionen von nichtionisierender Strahlung »⁷⁹ (limitation des immissions du rayonnement non ionisant), publié en 1998 par l'ancien Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, ne porte pratiquement que sur les effets sur la santé du RNI de basse fréquence, passant sous silence ceux du RNI de haute fréquence. C'est seulement en 2003 que les connaissances sur les répercussions sanitaires du RNI de haute fréquence ont pour la première fois fait l'objet d'une évaluation systématique en Suisse (Umwelt-Materialien n° 162, en allemand seulement). À cette époque, on considérait qu'il était probable que l'utilisation du téléphone mobile ait un impact sur les ondes cérébrales, les fonctions cognitives et les phases de sommeil et provoque des symptômes non spécifiques. Dans le même temps, on pensait qu'il était possible que l'exposition à des antennes de téléphonie mobile ou à des émetteurs de radio ait des répercussions sur la qualité subjective du sommeil et provoque des leucémies, ainsi que le fait qu'une hypersensibilité électromagnétique et des risques d'apparition de tumeurs cérébrales puissent être associés à l'utilisation du téléphone mobile. Depuis, un grand nombre d'études ont été menées dans le monde et en Suisse, notamment dans le cadre du PNR 57, le programme national de recherche « Rayonnement non ionisant. Environnement et santé », et avec l'aide de la fondation pour la recherche Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation (FSM) soutenue par Swissgrid et deux opérateurs de téléphonie mobile. Ces travaux ont permis d'améliorer les données disponibles sur l'impact du RNI de haute fréquence même si notre savoir reste lacunaire sur un grand nombre de points, notamment sur les effets que le modèle d'action thermique ne peut expliquer.

Dans le monde entier, les connaissances sur les effets sanitaires du RNI de haute fréquence font périodiquement l'objet de rapports de synthèse, soit par des groupes d'experts internationaux, soit par les services administratifs des gouvernements. L'OFEV publie aussi régulièrement des rapports spécialisés sur les dernières avancées de la recherche. Son dernier rapport date de 2014. Il s'agit du rapport Hug et al. (2014)⁸⁰, rédigé pour servir de base au rapport « Réseaux de téléphonie mobile adaptés aux exigences futures »⁸¹ du Conseil fédéral en réponse aux postulats du conseiller Noser (12.3580) et du groupe libéral-radical (14.3149). Les éléments de preuves des effets du faible rayonnement de haute fréquence sur la santé avaient alors été évaluées en se basant sur la littérature scientifique publiée jusqu'à fin juillet 2013. En 2014, l'OFEV a créé une structure de soutien en nommant un groupe consultatif d'experts en matière de RNI (BERE-NIS, acronyme de la désignation en allemand). Ce groupe examine les nouveaux travaux scientifiques relatifs aux champs électromagnétiques, puis choisit ceux qui méritent, à ses yeux, de faire une évaluation détaillée du point de vue de la protection des personnes. Ce faisant, il introduit un biais de sélection dont il est pleinement conscient. L'évaluation des résultats présentés par les études scientifiques sert à la détection précoce des risques. Il faut en effet veiller à repérer tout indice de nocivité qui appellerait une intervention. Les évaluations réalisées par le groupe sont publiées dans une newsletter trimestrielle.

6.2 Objectifs et démarche

En matière de risques sanitaires engendrés par l'exposition au rayonnement, le présent rapport s'est vu assigner l'objectif suivant : récapituler l'état des avancées de la recherche sur les effets du rayonnement de haute fréquence sur l'être humain en partant des connaissances figurant dans le rapport Hug et al. (2014) et en les complétant par les études significatives publiées entre-temps et soumises à un examen critique.

La question centrale est de savoir si, au regard du principe de précaution, il existe des éléments ou des faits tangibles attestant de l'existence d'effets sur la santé en deçà des valeurs limites définies par la Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) ou des valeurs limites d'immission retenues par l'ORNI. Le présent rapport s'appuie sur le rapport Hug et al. (2014), intitulé « Beurteilung der Evidenz für biologische Effekte schwacher Hochfrequenzstrahlung » (évaluation des éléments de preuve pour les effets biologiques du faible rayonnement de haute fréquence), dont les conclusions sont récapitulées au point 6.4. Il recense aussi les conclusions sur le lien de causalité entre exposition et risques sanitaires présentées par les travaux publiés depuis, parmi ceux qui ont été jugés importants et qui ont fait l'objet d'un examen spécifique. Ces travaux ont essentiellement été répertoriés grâce à la newsletter du groupe BERENIS. Le présent document passe également en revue les derniers rapports de synthèse internationaux. Enfin, il évalue les éléments de preuve et, le cas échéant, leur évolution depuis 2013. Pour la catégorisation du niveau de preuve, il s'appuie sur les critères établis par l'EFHRAN (European Health Risk Assessment Network on EMF) et basés sur le système d'évaluation du Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), à l'instar du rapport Hug et al. (2014). Cette classification prend en compte l'effet cancérogène, mais aussi d'autres aspects sanitaires ou physiologiques, ce qui lui permet d'être plus largement applicable. On distingue ainsi quatre niveaux : « éléments de preuve suffisants », « éléments de preuve limités », « éléments de preuve insuffisants » et « éléments suggérant une absence d'effet » (cf. Tableau 15).

L'évaluation du niveau de preuve était basée sur le consensus au sein du sous-groupe 3. Pour chaque effet considéré, les données disponibles ont donc été comparées avec la définition donnée par la classification et si le groupe était unanime, le niveau de preuve retenu figure dans le tableau récapitulatif. Lorsque les avis étaient partagés, les différentes opinions sont indiquées et les arguments des uns et des autres figurent en toute transparence. La possibilité de dire à partir de quel niveau d'exposition les effets concernés se faisaient observer a également été évaluée.

Il est à souligner que le présent rapport ne constitue pas une étude scientifique systématique au sens d'une revue Cochrane⁸², mais est une compilation des faits connus sur les effets sanitaires de l'exposition au rayonnement. Parmi le grand nombre de publications, seules les plus significatives et les plus pertinentes ont été prises en compte. Aucune étude scientifique n'est pour l'heure parue sur les éventuels effets de la technologie 5G sur la santé. Le groupe de travail s'est donc appuyé, pour son estimation du risque, sur des études menées par le passé sur les technologies 2G, 3G et 4G et donc sur des fréquences qui se situent dans la même fourchette que celles utilisées par la 5G.

Tableau 15 : Le système d'évaluation à quatre niveaux de l'EFHRAN

Classification	Critères
Éléments de preuve suffisants	<ul style="list-style-type: none"> – Une corrélation positive a été observée entre l'exposition et l'effet. – L'effet a été confirmé par plusieurs études menées par des groupes de recherche indépendants ou s'appuyant sur des protocoles d'investigation différents. Il existe une relation concordante entre l'effet et l'exposition. – La présence de facteurs de confusion peut être exclue avec un degré de certitude satisfaisant.
Éléments de preuve limités	<ul style="list-style-type: none"> – La preuve de l'effet repose sur seulement quelques études, ou il subsiste des questions sur le protocole, la conduite ou l'interprétation de ces études. – La présence de facteurs de confusion dans les études examinées ne peut pas être exclue avec un degré de certitude satisfaisant.
Éléments de preuve insuffisants	<ul style="list-style-type: none"> – La qualité, la cohérence ou la pertinence statistique des études disponibles ne permettent pas de tirer de conclusions claires.
Éléments de preuve suggérant une absence d'effet	<ul style="list-style-type: none"> – Diverses études menées par des chercheurs indépendants ayant des protocoles d'investigation différents et portant sur une fourchette suffisamment large d'intensités n'ont trouvé aucun effet chez au moins deux espèces ou sur au moins deux types de cellules.

6.3 Méthodologie

Dans l'idéal, l'évaluation des effets du RNI de haute fréquence sur les personnes devrait s'appuyer sur une analyse systématique de la littérature scientifique. C'est une tâche à laquelle s'est attelée l'OMS depuis déjà plus de cinq ans, avec une vingtaine de scientifiques d'horizons différents. L'organisation entend, dans une prochaine étape, analyser la littérature concernant le cancer, la reproduction, les atteintes cognitives et les troubles non spécifiques et prévoit à ce titre environ une année, pour autant que le financement soit assuré. Eu égard à cet investissement, il est évident – et il convient de le souligner – que le présent rapport n'est pas en mesure de faire sienne cette approche.

Le recensement des connaissances actuelles proposé ici s'appuie :

- d'une part sur les conclusions d'importants comités d'experts internationaux sur les effets sanitaires (sept rapports en tout) et
- d'autre part sur les plus importantes études parues entre 2013 et 2018. Il s'agit essentiellement de travaux sélectionnés pour leur pertinence par le groupe BERENIS, et évalués dans l'une de ses seize newsletters. Cet éventail a été complété par des recherches documentaires distinctes et à l'aide d'experts.

6.3.1 Publications originales

Au total, le groupe BERENIS a passé en revue 1757 publications parues entre le 1^{er} janvier 2014 et fin novembre 2018. Ces publications couvrent l'intégralité du domaine de fréquence des champs électriques statiques et magnétiques jusqu'au RNI de haute fréquence. Parmi toutes les études examinées, 189 ont fait l'objet d'un examen détaillé et 83 ont été résumées et évaluées dans une newsletter. Le présent rapport repose sur celles qui répondaient le mieux aux critères suivants :

- avoir une grande pertinence pour la santé ou le bien-être des personnes,
- fournir des informations sur les relations de cause à effet du RNI de haute fréquence dans l'environnement,
- jouer un rôle important dans la compréhension des mécanismes d'action biologiques,
- présenter une grande qualité scientifique.

Des recherches documentaires distinctes ainsi que la consultation d'experts ont par ailleurs permis de vérifier qu'aucune étude majeure ne manquait.

Les études portant sur l'exposition de la population sans intégrer les possibles répercussions sur la santé ne sont pour l'heure pas une priorité pour le groupe BERENIS. Ces données sont pourtant d'une grande importance pour établir l'exposition réelle des personnes aux stations de base et aux terminaux, que ce soit maintenant ou, dans la mesure du possible, à l'avenir avec la 5G. De telles études ont été identifiées dans le cadre d'une recherche séparée qui s'est concentrée sur la littérature scientifique afférente à l'exposition des personnes en Suisse puisque le présent rapport vise à estimer l'exposition réelle de la population suisse au RNI de haute fréquence. Les campagnes internationales de mesures auxquelles a participé la Suisse permettent de comparer l'exposition dans notre pays et à celle à l'étranger. Les résultats de ces recherches sont résumés aux points 5.4 à 5.6.

6.3.2 Rapports d'expertise internationaux

Le présent rapport s'appuie sur les estimations relatives aux risques d'exposition au RNI de haute fréquence de sept groupes d'experts. Leurs rapports ont été publiés par les instituts suivants : CSRSEN (Comité scientifique de l'Union européenne, 2015)⁸³, SSM (Suède, 2018)⁸⁴, ARPANSA (Australie, 2014)⁸⁵, Anses (France, 2016 et 2018)⁸⁶, ICNIRP (international, 2018)⁸⁷, TAB (Allemagne, 2017)⁸⁸.

Le rapport de l'ARPANSA n'est pas une analyse systématique, mais une évaluation sommaire de la littérature scientifique parue de 2002 à août 2012 par trois experts nommés par le gouvernement. Le rapport de la SSM correspond à la

dernière édition des mises à jour paraissant régulièrement sur les principales avancées de la recherche accompagnées d'un examen critique. La consultation de ces rapports de synthèse a permis de s'assurer qu'aucune étude importante publiée à partir de 2014 n'avait été omise lors des recherches. Par ailleurs, une des publications de l'Anses traite exclusivement des enfants (2016)⁸⁹ tandis que la seconde se concentre uniquement sur l'hypersensibilité électromagnétique (2018)⁹⁰. Le rapport du TAB n'a pas encore été officiellement publié, mais le groupe de travail a eu accès à son contenu (analyse non systématique de la littérature jusqu'à fin 2017).

Les éléments de preuve ressortant de ces documents, et le cas échéant les estimations des experts sur les points qui revêtent de l'importance pour le présent rapport (effets sur la santé), sont fournis sous forme de tableaux afin de permettre la comparaison avec les évaluations du rapport Hug et al. (2014). Les rapports d'expertise internationaux du CSR-SEN et de l'ARPANSA étaient déjà inclus dans ce dernier.

6.4 État des connaissances en 2014

Les connaissances scientifiques sur les répercussions biologiques du rayonnement de haute fréquence et de faible intensité ont fait l'objet d'un rapport détaillé en 2014 (Hug et al. 2014). Ce dernier intégrait les résultats d'études menées sur les humains, les animaux et les cultures cellulaires en prenant en compte les champs électromagnétiques des stations de base et d'autres stations émettrices tout comme ceux d'appareils tels que les téléphones mobiles. Ce rapport mettait en relief les principales conclusions concernant les effets qui relevaient du principe de précaution ancré dans la législation sur la protection de l'environnement parce qu'ils apparaissaient en deçà des valeurs limites d'immission établies pour protéger la population des effets thermiques reconnus. Ledit document incluait les publications parues jusqu'à fin juillet 2013.

Le présent rapport se base sur les conclusions tirées dans le rapport Hug et al. (2014) en matière de santé, qui sont présentées ci-après (cf. Tableau 16).

- *Risque de tumeurs cérébrales : éléments de preuve limités.* En 2011, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) déclarait que le rayonnement de haute fréquence était potentiellement cancérogène pour l'être humain. Les études épidémiologiques mettaient alors en évidence un risque accru de gliomes et de neurinomes de l'acoustique, bien qu'il soit impossible d'exclure des insuffisances méthodologiques ou le rôle du hasard dans l'apparition des tumeurs avec une certitude suffisante. Les résultats des nouvelles études épidémiologiques sur l'utilisation du téléphone mobile et l'apparition de tumeurs cérébrales ne sont pas homogènes, mais certaines indications isolées suggèrent un risque accru. Néanmoins, l'état encore lacunaire des connaissances, surtout pour les tumeurs à croissance lente, et l'insuffisance des données disponibles sur les risques encourus par les utilisateurs de longue durée empêchent de répondre de manière définitive à la question d'une éventuelle corrélation. L'autre raison qui s'y oppose tient au comportement des utilisateurs et aux appareils. Les deux ont considérablement évolué au cours des vingt dernières années ; d'un usage autrefois ponctuel – pour téléphoner –, certains usagers sont passés à une utilisation quasi permanente des appareils à radiofréquences, ce qui les soumet à une dose plus élevée de rayonnement, tandis que les nouveaux appareils ont un rayonnement et une modulation différents.
- *Effets sur le comportement des enfants et des adolescents : éléments de preuve insuffisants.* Il existe des éléments isolés attestant d'une incidence de l'exposition prénatale ou postnatale au RNI de haute fréquence sur le comportement. Isolés, car chacune des études a porté sur un mode d'exposition différent (utilisation du téléphone mobile par l'enfant, utilisation par la femme enceinte, stations émettrices fixes). Les effets de l'exposition aux stations émettrices fixes ont fait l'objet d'une étude de bonne qualité, qui n'a pas mis en évidence de corrélation entre le niveau d'exposition et des problèmes de comportement chez l'enfant. En revanche, le quart des adolescents soumis à la plus forte exposition présentait un taux de troubles du comportement et d'hyperactivité significativement plus élevé – du point de vue statistique – que ceux qui étaient moins fortement exposés. Il est cependant impossible d'exclure l'existence de facteurs de confusion susceptibles d'influencer ce résultat dans certains cas particuliers.
- *Troubles non spécifiques et hypersensibilité électromagnétique : éléments de preuve insuffisants.* Environ 5 % de la population suisse dit être électrosensible. Ces personnes attribuent de manière subjective des troubles du bien-être

être et des atteintes à la santé à l'exposition aux champs électromagnétiques auxquels elles sont soumises dans leur environnement privé ou professionnel. Des études expérimentales en double aveugle ont toutefois fourni de solides éléments invalidant l'existence d'un lien de causalité entre troubles non spécifiques et exposition de courte durée. Malgré tout, faute de recherches ciblées s'appuyant sur des expériences réitérées, on ne peut rejeter l'hypothèse que certaines personnes soient particulièrement sensibles à l'exposition au rayonnement de haute fréquence. En outre, aucune corrélation entre exposition de longue durée et troubles non spécifiques n'a pu être prouvée jusqu'ici. Il convient toutefois de noter que la pertinence de ces études sur l'exposition de longue durée est limitée, car il s'agissait en majorité d'analyses transversales et que les différences d'exposition étaient très faibles.

- *Effets sur la fertilité : éléments de preuve limités.* Des études ont relevé l'existence d'effets négatifs à plusieurs niveaux sur la qualité des spermatozoïdes exposés au rayonnement de haute fréquence *in vitro*. Chez l'animal aussi, les expériences indiquent des modifications du sperme exposé au rayonnement d'un téléphone mobile. Les études *in vivo* chez l'être humain donnent d'ailleurs des éléments assez homogènes en faveur de l'existence d'effets négatifs sur la qualité des spermatozoïdes, mais elles ont été jugées moins pertinentes en raison de limitations méthodologiques.
- *Effets sur les ondes cérébrales : éléments de preuve suffisants.* Une série d'études expérimentales de qualité menées sur l'être humain ont conclu que l'exposition de la tête au rayonnement de haute fréquence d'un téléphone mobile affectait les ondes cérébrales au repos et pendant le sommeil. Certains éléments indiquent l'existence d'effets spécifiques à la modulation qui suggèrent un mécanisme d'action athermique. Ces effets ne peuvent pas être expliqués par le modèle d'action thermique. La variabilité des effets d'un individu à l'autre laisse à penser qu'il existe des différences de sensibilité au rayonnement de haute fréquence. La caractéristique du signal, c'est-à-dire la spécificité de la modulation d'impulsion, ne semble pas avoir une action déterminante sur le déclenchement de l'effet. Les signaux à modulation pulsée dont la fréquence s'accorde avec celle des rythmes biologiques semblent suffire. Les effets physiologiques observés en deçà du seuil thermique n'affectent pas les performances cognitives ni la qualité du sommeil. Leur importance pour la santé n'est pas claire.
- *Effets sur la circulation sanguine et le métabolisme cérébral : éléments de preuve limités.* La majorité des études ont mis en évidence des effets liés à l'exposition aux téléphones mobiles utilisant le réseau GSM, même si les conséquences observées ne sont pas homogènes. Une étude a montré une augmentation du débit sanguin, tandis que d'autres ont décrit une diminution ou des variations dans les deux sens pour différentes régions du cerveau. Dans l'ensemble, le niveau de preuve est plus faible que pour la modification des ondes cérébrales. Il existe des éléments probants d'effets spécifiques à la modulation suggérant un mécanisme d'action athermique. L'importance de ces changements pour la santé n'est pas claire.
- *Cancérogenèse et cocancérogenèse : éléments de preuve limités.* Dans l'ensemble, les études à long terme sur l'exposition au rayonnement de haute fréquence de souris ou de rats n'ont pas établi d'augmentation des cas de cancer. En revanche, diverses études faisant intervenir des modèles animaux et portant sur la cocancérogenèse ont montré une hausse ou une accélération de la croissance des tumeurs chez les animaux de laboratoire soumis à l'exposition, c'est-à-dire chez des animaux présentant des anomalies génétiques augmentant le risque de tumeur, ou chez des animaux ayant subi un traitement cancérogène connu en plus d'une exposition au rayonnement de haute fréquence. Considérant que l'être humain est lui aussi souvent soumis simultanément à une pluralité d'expositions potentiellement nocives dans son environnement quotidien, ces expériences sont primordiales lorsqu'il s'agit d'estimer les risques. Le groupe d'experts du CIRC chargé d'évaluer le pouvoir cancérogène du rayonnement de haute fréquence en 2011 a estimé que dans l'ensemble, les éléments de preuve chez l'animal étaient limités.
- *Barrière hémato-encéphalique : éléments de preuve insuffisants.* Chez l'animal, plusieurs expériences – peu pertinentes pour diverses raisons – ont permis d'observer que l'exposition au rayonnement de haute fréquence entraînait une perméabilité accrue de la barrière hémato-encéphalique. Les nombreuses tentatives réitérées par la suite pour reproduire ces expériences n'ont montré pour l'essentiel aucun effet ou un effet très faible.

- *Effets sur la stabilité génétique : éléments de preuve insuffisants ou limités.* En raison des différences de qualité et de modalités expérimentales des études cellulaires, les données sont généralement très hétérogènes. La démonstration d'un dommage direct sur l'ADN par le rayonnement de haute fréquence est controversée. Par contre, il a été observé que la coexposition à des substances génotoxiques connues augmentait l'effet dommageable d'un mutagène sur l'ADN consécutif à une exposition. De plus, certaines études indiquent une perturbation de la division chromosomique.
- *Prolifération cellulaire : éléments de preuve insuffisants.* Diverses études ont montré que les champs de haute fréquence pouvaient avoir des effets sur la prolifération cellulaire. Toutefois, les données ne dressent pas un tableau homogène et on ne sait pas dans quelle mesure les effets observés dans les cellules cancéreuses cultivées sont transposables à des cellules normales de tissu humain.
- *Mort cellulaire programmée (apoptose) : éléments de preuve limités.* Plusieurs études récentes sur différentes lignées cellulaires humaines et sur des cellules de mammifères ont montré une augmentation des taux de mortalité cellulaire.
- *Dérivés réactifs de l'oxygène (stress oxydatif) : éléments de preuve limités.* Dans certaines études cellulaires, il a été observé que le rayonnement de haute fréquence augmentait la formation de dérivés réactifs de l'oxygène (DRO), lesquels pouvaient à leur tour entraîner des dommages cellulaires ou génétiques.
- *Expression des gènes et des protéines : éléments de preuve limités.* Il existe des études positives et négatives sur l'expression des protéines de choc thermique exposées au rayonnement de haute fréquence. Pour d'autres protéines, les résultats ne sont pas non plus formels. Étant donné que de nombreuses études se contentent de décrire les différences sans proposer de validation fonctionnelle ultérieure, l'importance des modifications observées n'est pas claire.
- *Mécanismes d'interaction moléculaires et biophysiques.* Les valeurs limites de l'ICNIRP adoptées pour valeurs limites d'immission en Suisse protègent contre les effets thermiques. Les effets observés en deçà de ces valeurs limites sont appelés effets athermiques. La distinction entre effets thermiques et effets athermiques peut induire en erreur parce que des processus microthermiques peuvent aussi produire des effets en dessous des limites d'immission. Dans des études portant sur la physiologie du cerveau de l'être humain, mais aussi sur les effets génotoxiques (*in vitro*), il a été observé à plusieurs reprises des effets dépendant de la modulation montrant que l'apport d'énergie, mais aussi les caractéristiques du signal, jouait un rôle. À cela s'ajoute le fait que la modulation n'a pas d'influence sur l'énergie absorbée et donc d'effet thermique. Il s'agit là d'indices caractérisés de l'existence d'effets biophysiques athermiques pour lesquels il n'existe pas de modèle. Pour bon nombre de mécanismes biophysiques examinés, il est assez peu probable qu'ils soient en mesure d'exercer une influence significative sur les systèmes biologiques en dessous du seuil thermique. Néanmoins, tous les mécanismes d'interaction entre champs électromagnétiques faibles de signaux différents et structures biologiques pertinentes n'ont pas encore été découverts. Des observations sporadiques suggèrent que l'exposition au rayonnement de haute fréquence a des effets biologiques qui n'expliquent pas les modèles radiobiologiques classiques. Il est difficile d'obtenir une confirmation claire des mécanismes moléculaires potentiels ou des effets produits par les champs électromagnétiques à partir de recherches expérimentales.

Le rapport Hug et al., 2014 faisait observer que, dans certaines situations défavorables, les facteurs de sécurité étaient surestimés lors de la fixation des valeurs limites. L'existence d'effets dépendant de la modulation appelle une meilleure compréhension des mécanismes biophysiques et biologiques. Ces connaissances permettraient de réduire les incertitudes qui subsistent quant aux effets potentiels du rayonnement de haute fréquence sur la santé, en particulier en cas de faibles doses et d'exposition sur une longue durée.

6.5 Rapports d'expertise internationaux depuis 2014

Les catégories d'éléments de preuve compilées par les différents rapports publiés depuis 2014, en se basant sur les points évalués par le rapport Hug et al. (2014) et les documents complémentaires, sont récapitulés ci-dessous (Tableau 16). Certains rapports d'expertise n'ont pas procédé à une évaluation formelle du niveau de preuve et la classification a alors

été effectuée en comparant les textes avec les catégories correspondantes. D'autres ont classé les éléments de preuve en cinq catégories en opérant une distinction entre « faibles » et « ouverts » lorsque les éléments de preuve étaient insuffisants. Le niveau « ouvert » fait référence aux points pour lesquels il existe trop peu d'études pour pouvoir conclure dans un sens ou dans un autre. Les rapports d'expertise en question ont été publiés entre 2014 et 2018 et n'incluent donc pas les derniers résultats dont ce rapport fait état.

Tableau 16 : Récapitulatif des éléments de preuve figurant dans les rapports d'expertise publiés après 2014

Points évalués	Hug et al. (2014)	CSRSEN	SSM	ARPANSA	ANSES Enfants	ICNIRP	TAB
Tumeurs cérébrales (téléphone mobile)	L	L	I	L	O	I	I
Cancers (prédispositions)	I	A	--	I	--	I	I
Comportement des enfants et des adolescents	I	I	O	O	O	O	I
État de santé et symptômes (chroniques)	I	A	A	O	I	A	A
État de santé et symptômes (aigus)	A	A	A	O	I	A	A
Fertilité	L	A	O	O	O	I	I
Ondes cérébrales	S	S	L	L	--	S	S
Circulation sanguine et métabolisme cérébral	L	--	--	--	--	I	--
Cocancérogenèse dans l'expérimentation animale	L	O	--	--	--	I	I
Barrière hémato-encéphalique	I	I	O	--	--	?	A
Dommage sur l'ADN (direct)	I	I	I	--	O	I	I
Dommage sur l'ADN (coexposition)	L	I	I	--	O	I	I
Prolifération cellulaire	I	I	I	--	O	I	I
Apoptose	L	I	I	--	O	I	I
Stress oxydatif	L	I	I	--	O	I	I
Expression des gènes et des protéines	L	I	I	--	O	I	I
Développement,	--	I	I	--	O	O	I
Fonctions cognitives	--	I	I	--	L	L	I

Les catégories des éléments de preuve sont reconnaissables à leur couleur et à leur lettre :

	Hug / TAB		Autres rapports
S	Suffisants	S	Suffisants
L	Limités	L	Limités
I	Insuffisants	I	Faibles
		O	Ouverts
A	Suggérant une absence d'effets	A	Suggérant une absence d'effets
--	Aucune information	--	Aucune information

Outre les rapports listés dans le Tableau 16, l'agence française de sécurité sanitaire Anses a analysé la littérature scientifique publiée entre avril 2009 et juillet 2016 relative à l'électrohypersensibilité⁹¹ (EHS). Le groupe de seize experts qui s'est penché sur la question a constaté que les études sur le sujet étaient pour la plupart entachées d'importantes insuffisances méthodologiques. Le recrutement, en particulier, était selon eux très hétérogène, car il n'existe pas de critères objectifs et universellement reconnus pour caractériser les patients souffrant d'EHS. La recherche des symptômes et des sources était tout aussi hétérogène. Les enquêtes sur la fréquence de l'EHS sont donc à évaluer avec prudence. Les études de ces dernières années laissent supposer qu'environ 5 % de la population sont concernés et que ce chiffre ne va pas croissant. Le fait que les tests expérimentaux de provocation se soient révélés négatifs peut signifier qu'il n'y a pas de corrélation, mais il se peut aussi qu'ils n'aient pas permis d'appréhender une corrélation qui existerait réellement du fait des déficits méthodologiques des études, notamment en matière de recrutement. Il se peut aussi que les effets ne se manifestent que sous certaines conditions ou dans des situations d'exposition qui n'ont pas encore été comprises. L'effet nocebo⁹² décrit à plusieurs reprises par les scientifiques favorise la persistance des troubles et n'exclut pas qu'une source de RNI en soit le déclencheur. Les études existantes permettent de dire que les patients atteints d'EHS ont un moindre sentiment de bien-être et sont plus dépressifs et anxieux qu'un groupe témoin, bien que les maladies chroniques et rares s'accompagnent typiquement de troubles accusés de cette nature. On ne sait pas si des modifications de l'exposition affectent la santé des personnes concernées. La mise en place de zones et de pièces exemptes de rayonnement ne s'appuie donc pas sur une justification scientifique, toujours selon les conclusions de ces experts.

6.6 Évaluation du niveau de preuve à l'aide des nouvelles études

L'évaluation des éléments de preuve a pour objectif d'établir l'état des connaissances scientifiques relatives aux effets du rayonnement de haute fréquence sur l'être humain. Il s'agit en priorité de savoir si, au regard du principe de précaution, il existe des éléments ou des faits tangibles attestant de l'existence d'effets en deçà des valeurs limites définies par de l'ICNIRP (ou des valeurs limites d'immission retenues par l'ORNI).

L'analyse de la littérature scientifique parue depuis 2014, en tenant compte des rapports d'expertise publiés, met en évidence l'existence des effets suivants, potentiels, du RNI :

- *Tumeurs causées par l'utilisation du téléphone mobile sur une longue durée.* Concernant les tumeurs cérébrales malignes, les résultats des nouvelles études épidémiologiques sont hétérogènes. Une étude de cohorte prospective a révélé une corrélation négative entre utilisation du téléphone mobile et gliome, tandis que deux études cas-témoins ont fait état d'un risque accru pour les utilisateurs extrêmes. Les risques mis en évidence par les deux études cas-témoins sont d'une telle ampleur qu'ils devraient forcément se traduire par une augmentation des tumeurs cérébrales. L'évolution des taux de morbidité a donc été analysée dans plusieurs pays. Les études menées n'ont cependant trouvé aucun élément montrant que l'incidence des tumeurs augmentait, compte tenu d'un certain décalage dans le temps, une fois que la majorité de la population de ces pays avait commencé à utiliser des téléphones mobiles. Cela suggère que, au moins dans certaines études cas-témoins, la forte augmentation des risques observés est sans doute due à une question de méthodologie et que la durée d'utilisation du téléphone mobile par les patients atteints de tumeurs cérébrales a systématiquement été surestimée par rapport à celle des témoins sains.
- Deux grandes études animales ont été publiées depuis 2014. Elles mettent en évidence des effets cancérogènes de l'exposition au RNI de haute fréquence (NTP et Ramazzini). Comme avec toutes les études portant sur les animaux, il subsiste néanmoins des incertitudes quant à la transposition de leurs résultats à l'être humain et à l'exposition quotidienne au RNI de haute fréquence. Les résultats obtenus par les essais sur les animaux jouent cependant un rôle important dans la classification du risque de cancer par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC).
- Certains membres du groupe de travail pensent que les nouvelles études sur les animaux tendent à montrer une augmentation des éléments de preuve par rapport à 2014, tandis que d'autres estiment que les résultats obtenus ne sont pas suffisamment solides pour permettre une telle conclusion. La constance des taux de morbidité de plusieurs registres du cancer semble davantage indiquer une diminution des preuves. Dans l'ensemble, les éléments

de preuve continuent donc à être jugés limités. Cela signifie qu'il subsiste des questions sur le protocole, la conduite ou l'interprétation des études concernées, et que l'existence de facteurs de confusion ne peut être exclue avec un degré de certitude satisfaisant.

- *Tumeurs causées par les stations émettrices.* Il existe encore très peu de travaux à ce sujet. Une étude publiée en 2014 n'a pas établi l'existence d'un lien entre l'exposition à une station émettrice de radio ou de télévision et les cas de cancer infantile diagnostiqués en Suisse entre 1985 et 2008. L'une des études animales mentionnées ci-dessus a montré une augmentation du nombre de schwannomes cardiaques chez les rats mâles exposés toute leur vie à un rayonnement correspondant aux valeurs limites d'immission (50 V/m). Comme en 2014, ces éléments de preuve ont été jugés insuffisants.
- *Cocancérogenèse dans l'expérimentation animale.* Une étude publiée en 2015 a confirmé des résultats antérieurs selon lesquels l'exposition simultanée au RNI de haute fréquence et à une substance cancérogène avérée entraînait une croissance tumorale plus rapide que l'exposition à la seule substance cancérogène. Le fait qu'il ait été possible de reproduire cette promotion tumorale pourrait servir d'argument pour faire passer les éléments de preuve de « limités » à « suffisants ». Cependant, l'absence d'une relation exposition-réponse et les limites méthodologiques de l'étude s'y opposent. Les expériences sur la cocancérogenèse sont fondamentales, car l'être humain est lui souvent soumis simultanément à une pluralité d'expositions potentiellement nocives dans son environnement quotidien. Une étude de cohorte sur la probabilité de survie de 806 patients atteints de gliome en fonction de l'utilisation de leur téléphone mobile n'a cependant apporté aucun élément attestant d'un effet promoteur de tumeur. Les éléments de preuve apportés sont donc considérés comme limités.
- *État de santé et symptômes dus à une source d'exposition quotidienne tels un téléphone mobile ou une station émettrice.* Une série de nouvelles études menées aux Pays-Bas et en Suisse n'ont trouvé aucune corrélation entre l'apparition de symptômes et le RNI modulé de haute fréquence sur le lieu d'habitation, ce qui tend à indiquer qu'il n'y en a simplement pas (éléments de preuve suggérant une absence d'effet). Dans ces expériences (tout comme dans la réalité), la proportion de personnes soumises à des expositions plus élevées que la moyenne (p. ex. > 0,5 V/m) est très faible. Ces études ne sont donc pas suffisamment pertinentes pour évaluer les effets à des niveaux d'exposition comparables ou supérieurs à la valeur limite de l'installation. Les éléments de preuve sont donc jugés insuffisants. Certains membres du groupe de travail estimaient cependant, sur la base de leur expérience pratique avec des patients attribuant de manière plausible leurs troubles à des expositions élevées au RNI, qu'il n'était pas possible d'exclure entièrement un lien même si la preuve de l'existence de tels effets ne pouvait être apportée au cas particulier.
- *État de santé et symptômes en cas d'exposition de courte durée.* Il n'y a pratiquement pas eu de nouvelle étude de provocation sur les effets aigus du RNI de haute fréquence sur l'état de santé depuis 2014. À l'époque déjà, il existait des éléments prouvant qu'il n'y avait pas de lien.
- *Effets sur le comportement des enfants et des adolescents en cas d'exposition prénatale, d'utilisation d'un téléphone mobile et d'exposition à des stations émettrices fixes.* S'il existe de nouvelles études sur le sujet, les liens observés de manière isolée ne fournissent aucune image cohérente. De plus, une étude longitudinale tend à montrer que les adolescents ayant des problèmes de comportement ont plus tendance à utiliser leur téléphone mobile, et non que l'utilisation du téléphone mobile entraîne des problèmes de comportement (causalité inversée). Les éléments de preuve sont donc jugés insuffisants.
- *Fonctions cognitives en cas d'utilisation intensive du téléphone mobile.* Une étude publiée en 2018 a observé une influence à long terme du RNI de haute fréquence sur la mémoire à court terme et une étude expérimentale a montré que, lors d'un test cognitif, l'amélioration liée au sommeil était réduite après des nuits d'exposition au RNI de haute fréquence. Si ces effets cognitifs étaient réels et n'étaient pas compensés sur la durée, cela aurait des répercussions au niveau des performances de toute la société. Plusieurs autres études expérimentales à court terme et certaines autres études épidémiologiques ne fournissant pas d'image globale cohérente, les éléments de preuve sont jugés insuffisants. Ce point n'avait pas été évalué en 2014.
- *Développement du fœtus en relation avec une utilisation intensive du téléphone mobile par la mère pendant la grossesse.* Une première grande étude de cohorte prospective menée en Norvège n'a trouvé aucun élément faisant

état d'un lien quelconque⁹³. L'étude ne pouvant livrer aucune conclusion sur l'influence du RNI de haute fréquence sur le taux de fausses couches avant la 15^e semaine de grossesse, les faits ne sont pas considérés comme établis. Les éléments de preuve ont donc été jugés insuffisants.

- *Qualité du sperme.* Le rapport Hug et al. (2014) avait jugé les éléments de preuve limités sur la base de nouvelles études (à l'époque) sur les effets de l'utilisation quotidienne du téléphone mobile sur la qualité du sperme. Depuis, aucune étude de meilleure qualité n'a permis d'étayer ces observations chez l'être humain. Il existe toutefois aussi des travaux sur l'animal qui tendent à montrer de façon expérimentale l'existence d'effets négatifs causés par des expositions relativement faibles (150 mW/kg). Les études *in vitro* sur le sujet n'ont pas été évaluées en détail. Les éléments de preuve ont été jugés insuffisants sur la base des études sur l'être humain. Les effets potentiels sur la reproduction constituant un point sensible, il est recommandé d'accorder une attention renforcée à cette question.
- *Ondes cérébrales influencées par l'exposition aux téléphones mobiles.* Comme en 2014, les éléments de preuve ont été jugés suffisants. Le peu d'études nouvelles confirme les résultats précédents, bien qu'il y ait certaines divergences entre les résultats.

Comme expliqué plus haut, les nombreuses études *in vitro* et *in vivo* n'ont pas été évaluées de manière approfondie par le groupe de travail, car elles font référence à un grand nombre de systèmes biologiques pour lesquels le groupe ne possède pas l'expertise nécessaire. Par conséquent, aucune évaluation des preuves n'a été faite pour un certain nombre d'effets biologiques (barrière hémo-encéphalique, dommages sur l'ADN, prolifération cellulaire, apoptose, stress oxydatif, expression des gènes et des protéines). L'impact du RNI de haute fréquence sur le stress oxydatif (dérivés réactifs de l'oxygène, DRO) a toutefois été décrit dans plusieurs publications. Les connaissances actuelles montrent que de faibles concentrations de DRO sont bénéfiques pour la santé et jouent un rôle important dans la réponse aux processus inflammatoires, tandis que des concentrations élevées sont associées aux maladies les plus diverses comme le cancer, le diabète et les maladies cardiovasculaires.

Les conclusions du groupe de travail sont résumées ci-après.

- Jusqu'à présent, aucun schéma cohérent n'a été identifié s'agissant de la relation entre effet sanitaire et valeurs inférieures à celles recommandées par l'ICNIRP (ou aux valeurs limites d'immission de l'ORNI) ni s'agissant de la relation entre effet sanitaire et fréquences de téléphonie mobile utilisées actuellement.
- Pour ce qui est de l'absorption locale, il existe des éléments de preuve d'effets physiologiques chez l'être humain lorsque le cerveau est exposé à un rayonnement conforme aux valeurs recommandées par l'ICNIRP (ondes cérébrales surtout). Les études expérimentales ont parfois aussi mis en évidence des effets différents dépendant de la modulation, ce qui suggère que la forme du signal pourrait jouer un rôle, en plus de son intensité, ce que le modèle d'action thermique ne peut pas expliquer. Toutefois, l'impact éventuel de la caractéristique du signal (p. ex. la modulation) a encore trop peu fait l'objet d'évaluations systématiques.
- Rares sont les études qui portent sur des personnes dont le corps entier est exposé à la valeur limite en la matière. Bien qu'autorisées, ces expositions sont pratiquement inexistantes au quotidien, ce qui rend les études observationnelles difficiles. Dans les études épidémiologiques, les personnes les plus fortement exposées sont tout de même nettement moins exposées que dans cette hypothèse (environ 0,2-1 V/m). Il n'y existe aucun élément attestant la présence d'effets de ces expositions sur la santé.
- Dans la pratique médicale, il existe des cas dans lesquels les patients attribuent de manière plausible leurs troubles à l'exposition quotidienne à un RNI élevé. Aucun élément probant n'a toutefois pu être apporté. Même les études randomisées en double aveugle n'ont pu fournir la preuve d'une telle hypersensibilité électromagnétique. Il convient néanmoins de préciser que la majorité des études ont porté sur la perception en cas d'exposition à court terme.
- De très nombreuses études *in vitro* et *in vivo* ont été réalisées. Elles montrent souvent l'existence d'effets biologiques (p. ex. DRO), mais leurs résultats ne sont pas homogènes. Il n'a ainsi été trouvé aucun schéma cohérent

relatif aux relations exposition-effet ou sur la question de savoir quelles cellules seraient particulièrement vulnérables.

- Il existe déjà quelques études portant sur l'exposition *in vitro* et *in vivo* pour la gamme de fréquences allant de 30 à 65 GHz. Les résultats ne sont toutefois pas assez solides pour permettre d'évaluer les éléments de preuve.
- En regard aux questions en suspens, le point 10.4.1 décrit pour quels effets potentiels des recherches complémentaires sont recommandées.

Tableau 17 : Récapitulatif des éléments de preuve évalués par le groupe de travail (en 2019) au regard de l'évaluation figurant dans le rapport Hug et al. (2014)

Points évalués	Exposition	Évaluation des éléments de preuve en 2014	Évaluation des éléments de preuve en 2019
Tumeurs (surtout glioblastomes et neurilemmomes)	Utilisation intensive ou de longue durée du téléphone mobile	Limités	Limités
	Stations émettrices	Insuffisants	Insuffisants
Cocancérogenèse dans l'expérimentation animale	2014 : $\geq 0,9 \text{ W/kg}$ 2019 : $\geq 0,04 \text{ W/kg}$	Limités	Limités
État de santé et symptômes	Exposition quotidienne au téléphone mobile et aux stations émettrices	Insuffisants	Suggérant une absence d'effets / insuffisants
	Exposition de courte durée au téléphone mobile et aux stations émettrices (< 1 h)	Suggérant une absence d'effets	Suggérant une absence d'effets
Effets sur le comportement des enfants et des adolescents	Diverse : exposition prénatale (utilisation du téléphone mobile par la mère), utilisation du téléphone mobile par l'enfant, stations émettrices fixes	Insuffisants	Insuffisants
Fonctions cognitives	Utilisation intensive du téléphone mobile	Non évalué	Insuffisants
Développement, grossesse	Utilisation intensive du téléphone mobile par la mère	Non évalué	Insuffisants
Fertilité (qualité du sperme)	Utilisation quotidienne du téléphone mobile	Limités	Insuffisants
Ondes cérébrales	$\leq 8 \text{ h}$ exposition au téléphone mobile	Suffisants	Suffisants
Circulation sanguine et métabolisme cérébral	$\geq 0,9 \text{ W/kg}^*$	Limités	Non évalué
Barrière hémato-encéphalique	$< 0,1 \text{ W/kg}^*$	Insuffisants	Non évalué
Dommage direct sur l'ADN	$\geq 2 \text{ W/kg}^*$	Insuffisants	Non évalué
Dommage indirect sur l'ADN	$\geq 2 \text{ W/kg}^* \text{ resp. } \geq 0,1 \text{ W/kg}^*$	Limités	Non évalué
Prolifération cellulaire	$\geq 1 \text{ W/kg}^*$	Insuffisants	Non évalué
Apoptose (mort cellulaire programmée)	$\geq 1,6 \text{ W/kg}^*$	Limités	Non évalué
Stress oxydatif – dérivés réactifs de l'oxygène (DRO)	$\geq 2 \text{ W/kg}^*$	Limités	Non évalué
Expression des gènes et des protéines	Pas clair	Limités	Non évalué

*Pour les points évalués par expérimentation animale ou cellulaire, le tableau reprend la plus faible valeur TAS pour laquelle des effets ont été observés dans au moins une des études analysées par Hug et al. (2014).

7 Procédures et exécution

7.1 Recherche d'emplacements pour les stations de base

7.1.1 Contexte

Le cadre légal régissant la procédure d'autorisation de stations de base de téléphonie mobile comprend les lois et ordonnances suivantes ainsi que les aides à l'exécution qui y sont associées :

- La loi sur les télécommunications et les concessions pour l'utilisation des fréquences de téléphonie mobile réglementent entre autres l'étendue de l'utilisation conjointe d'infrastructures proposée par les prestataires de téléphonie mobile ainsi que les exigences concernant la couverture minimale de la surface et de la population en services de téléphonie mobile.
- Sur la base des prescriptions et des principes de la loi sur la protection de l'environnement, les valeurs limites d'émission, les valeurs limites de l'installation, la définition d'installation, ainsi que la manière de déterminer par calcul et par mesure les intensités de champ électrique sont réglementées par l'ORNI et par les recommandations d'exécution relatives à l'ORNI.
- La loi sur l'aménagement du territoire réglemente les exigences pour les emplacements situés hors des zones à bâtir. Étant donné que, conformément à la loi sur l'aménagement du territoire, les territoires urbanisés doivent en principe être approvisionnés en biens et services par des installations implantées au sein de ces territoires, il est indispensable de construire des installations dans les zones à bâtir, et donc également dans les zones d'habitation.
- Les procédures d'autorisation sont réglementées au niveau cantonal. Généralement, une demande de permis de construire est nécessaire pour chaque installation comportant une puissance d'émission dépassant 6 W ERP ainsi que pour les modifications au sens de l'ORNI (cf. point 7.2.1.2 ss).

Les recommandations de la Commission fédérale des monuments historiques⁹⁴ (document de base 2018) limitent les possibilités d'emplacements. La mise en place d'une installation de téléphonie mobile ne doit pas porter atteinte à la substance matérielle des objets protégés, rendant d'autant plus difficile l'acquisition d'objets potentiels dans les centres urbains (quartiers historiques). En outre, les abords des objets protégés jouissent également d'une protection particulière afin de garantir que lesdits objets ne subissent pas d'altérations majeures. De nombreuses communes font par ailleurs partie de l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse (ISOS) ou disposent d'un paysage inscrit à l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP).⁹⁵

Différentes villes et communes ont rendu des décisions visant à interdire la construction de stations de téléphonie mobile sur les biens immobiliers de leur patrimoine administratif et financier (par ex. moratoires sur les antennes de téléphonie mobile des villes de Berne et de Genève, moratoire partiel exigé par la ville de Zurich).

7.1.2 Prescriptions en matière de droit de l'aménagement du territoire

Le parc immobilier suisse comporte environ 2,5 millions de bâtiments. Quelque 595 000 objets (24 %) sont situés hors des zones à bâtir et environ 10 % sont utilisés comme espaces de bureaux, surfaces commerciales et entrepôts. Près de deux tiers de tous les bâtiments en Suisse servent principalement de lieux d'habitation ; deux tiers parmi ceux-ci sont des maisons individuelles.

Les installations de téléphonie mobile qui couvrent le territoire urbanisé doivent en principe être construites dans la zone à bâtir ; elles sont alors conformes à l'affectation de la zone. En dehors des zones à bâtir, la construction d'installations de téléphonie mobile n'est autorisée que lorsque l'implantation est imposée par la destination.

La nouvelle jurisprudence du Tribunal fédéral précise toutefois que les plans d'affectation peuvent influencer le choix de l'emplacement d'antennes de téléphonie mobile à l'intérieur de la zone à bâtir. Dans le cadre de leurs compétences en

matière de droit de construction et de planification, les communes et les cantons sont, dans une certaine mesure, habilités à édicter des prescriptions en ce qui concerne les installations de téléphonie mobile, pour autant que les limites du droit fédéral soient respectées. Il se peut alors qu'une installation ne puisse pas remplir son objectif de desserte initial et que la construction d'installations supplémentaires s'impose.

Dans l'intérêt du développement urbain et de la préservation des caractéristiques des localités et du paysage, il est donc possible de piloter le choix d'emplacements pour les installations de téléphonie mobile grâce à divers instruments communaux et cantonaux relatifs à la planification et à la coordination des emplacements au sens d'une planification positive / négative. Le modèle dit en cascade sert à établir des priorités spécifiques aux zones d'emplacements possibles d'antennes : un emplacement est uniquement autorisé dans une zone de priorité inférieure (par ex. zone mixte résidentielle et commerciale ou zone exclusive d'habitation) si un emplacement n'entre pas en ligne de compte dans une zone de priorité supérieure (par ex. zone industrielle). Les installations qui ne sont pas reconnaissables comme étant des antennes (par ex. antennes cachées ou dissimulées à la vue) ne peuvent toutefois pas relever de la régulation en cascade.

Le Tribunal fédéral s'est également prononcé en faveur d'un accord avec les opérateurs en ce qui concerne les mesures possibles de planification. Depuis 2009, différentes communes ont adopté le modèle dit de dialogue, qui permet une information précoce des autorités communales quant aux plans d'extension des opérateurs. La coopération entre les opérateurs et les communes s'en retrouve ainsi facilitée. Ce modèle de dialogue permet aux autorités compétentes de participer à la recherche d'emplacements appropriés d'antennes. Aujourd'hui, près de la moitié des communes suisses ont conclu un accord avec les opérateurs dans ce cadre.

7.1.3 Prix des loyers et des locations

Le marché suisse des télécommunications a été libéralisé en 1998. En avril de la même année, deux licences GSM supplémentaires à la licence existante détenue par Swisscom ont été attribuées à diAx et Orange (aujourd'hui Sunrise, respectivement Salt). Actuellement et au cours de ces prochaines années, de nombreux contrats de location de stations de téléphonie mobile (situées sur des parcelles isolées ou des toits de bâtiments) d'une durée limitée à 15 ou 20 ans arrivent donc à échéance et doivent être renégociés. La plupart des contrats prévoient que le loyer suive l'indice, raison pour laquelle ils sont constamment adaptés au renchérissement. Étant donné que la recherche d'emplacements de remplacement s'avère souvent difficile et nécessite beaucoup de temps, le prix des loyers augmente en partie de façon disproportionnée. Un tiers des contrats nouvellement négociés conduit à une augmentation des prix de plus de 50 %.

7.1.4 Défis à relever lors de la recherche d'emplacements

Les prix de location des stations de téléphonie mobile augmentent constamment, avec un portefeuille en constante diminution (planification négative, moratoires, installations existantes, etc.). Il est ainsi peu probable que les conditions-cadres actuelles permettent de trouver suffisamment d'emplacements pour un déploiement de la 5G à des conditions économiquement supportables. Par ailleurs, en raison de la densité de la réglementation actuelle (zones réservées, cascades, charges formulées dans l'autorisation, objets, localités et paysages protégés, etc.), et des oppositions exercées dans les communes et les villes, il est difficile d'acquérir et d'autoriser rapidement les emplacements de téléphonie mobile supplémentaires nécessaires pour un déploiement de la 5G dans les meilleurs délais.

En raison de l'acquisition difficile des emplacements et de la densité déjà élevée de ceux-ci, la densification et le développement des réseaux ne sont possibles que de façon limitée. À l'intérieur d'une zone à bâtir, il est souvent difficile de parvenir à une utilisation conjointe d'une installation existante par un autre opérateur et de limiter, de ce fait, le nombre d'installations à un strict minimum) : lorsque la valeur limite de l'installation définie par l'ORNI est déjà pratiquement atteinte par un ou plusieurs emplacements ou installations d'un opérateur de téléphonie mobile, aucun autre prestataire ne peut y ériger une station de téléphonie mobile supplémentaire en raison de la définition de l'installation au sens de l'ORNI. Même lorsqu'une installation n'atteint pas la valeur limite, il n'existe aucune disposition obligeant l'exploitant à la mettre à la disposition d'un concurrent. Le taux d'utilisation conjointe est d'une manière générale plus bas en Suisse qu'à l'étranger.

Le manque de possibilités de développement ou d'utilisation conjointe et la disponibilité limitée d'emplacements alternatifs appropriés peuvent conduire, lors de la nécessaire densification des réseaux, à devoir choisir des emplacements qui ne sont optimaux ni du point de vue de l'opérateur, ni des communes, voire à ce qu'aucun emplacement ne puisse être trouvé.

7.2 Autorisation et exécution par les cantons et les communes

7.2.1 Situation actuelle

Dans le cas des installations commerciales de téléphonie mobile, ce sont les cantons et les communes qui sont responsables de l'exécution de l'ORNI, et, dans le cas des installations de téléphonie mobile pour le système de radiocommunications du réseau ferré (GSM-Rail), cette tâche incombe à l'Office fédéral des transports. En règle générale, les services communaux ou cantonaux chargés de la protection contre le rayonnement non ionisant effectuent l'évaluation exigée par le droit environnemental des installations de téléphonie mobile dans le cadre de demandes de permis de construire (ci-après, sauf indication contraire, on parlera de « services [communaux ou cantonaux] chargés de la protection contre le RNI »), le permis de construire proprement dit étant ensuite délivré par l'autorité compétente.

Les procédures d'autorisation et de contrôle d'installations commerciales de téléphonie mobile peuvent légèrement différer selon les cantons mais reposent toutefois sur les mêmes principes.

7.2.1.1 Nouvelles constructions ou transformations d'installations existantes soumises à autorisation

- *Soumission d'une demande de permis de construire avec fiche de données spécifique au site* : pour la construction de nouvelles installations de téléphonie mobile dont la puissance dépasse 6 W ERP et lors de leur transformation (sous réserve de certaines exceptions, voir point 7.2.1.2), l'opérateur de téléphonie mobile est tenu de soumettre une demande de permis de construire auprès de l'autorité compétente. Ladite demande doit notamment comprendre une fiche de données spécifique au site, dans laquelle l'opérateur fournit toutes les informations pertinentes quant à l'exploitation de l'installation – comme par ex. la puissance émise et la direction principale de propagation de toutes les antennes – et calcule le rayonnement attendu aux alentours de l'antenne. Dans le cas d'installations de téléphonie mobile dont la puissance d'émission ne dépasse pas 6 W ERP, la fiche de données spécifique au site n'est pas nécessaire ; en règle générale, un simple formulaire de notification suffit à cet égard. L'autorité compétente statue sur la nécessité d'un permis de construire.
- *Publication de la demande de permis de construire et possibilité de faire opposition* : la commune est tenue de publier la demande de permis de construire et de la mettre à l'enquête publique. La fiche de données spécifique au site indique le périmètre maximal de l'installation qui donne aux personnes concernées un droit d'opposition. Dans de nombreux cantons, les habitants peuvent consulter les documents pendant cette période d'enquête publique et, le cas échéant, faire opposition. Dans d'autres cantons (par ex. le canton de Zurich), la décision sur le droit de construction peut être demandée pendant cette période, qui donne droit à faire recours après que l'installation ait été autorisée ou rejetée.
- *Examen matériel de la demande de permis de construire avec fiche de données spécifique au site* : l'autorité responsable de l'autorisation de construire examine la demande et fait en règle générale appel au service chargé de la protection contre le RNI pour l'évaluation de la fiche de données spécifique au site. Celui-ci vérifie les données qui figurent dans la fiche de données spécifique au site, ce qui suppose la plupart du temps une inspection préalable de l'emplacement et une modélisation indépendante du rayonnement (calcul). Une fois que le respect des valeurs limites de l'ORNI est garanti par calcul avec les paramètres d'exploitation demandés, le service chargé de la protection contre le RNI recommande l'autorisation de l'installation (le cas échéant sous certaines conditions). Le requérant est tenu de corriger la fiche de données spécifique au site si le service chargé de la protection contre le RNI y trouve des erreurs. Dans la pratique, il arrive que plusieurs cycles de corrections soient nécessaires avant que le service chargé de la protection contre le RNI puisse établir un rapport technique final recommandant l'octroi d'une autorisation.

- *Autorisation de construire et possibilités de faire recours* : l'autorité compétente ne peut interdire une installation planifiée de téléphonie mobile si cette dernière respecte les prescriptions régissant le droit de construction ainsi que les valeurs limites de l'ORNI selon les pronostics calculatoires. La décision relative à la demande de permis de construire est communiquée au requérant et aux opposants. Ces derniers (de même que les recourants, qui ne peuvent s'adresser au tribunal qu'après l'autorisation de l'installation) ont la possibilité de contester la décision jusqu'au Tribunal fédéral, en passant par les instances de recours cantonales.
- *Réception de l'ouvrage* : après la construction ou la transformation de l'installation, cette dernière est examinée par l'autorité compétente quant à sa conformité avec l'autorisation délivrée. Cet examen comprend la localisation des mâts et des antennes ainsi que les types d'antennes installées et leur orientation. À ce stade, le RNI émis par les antennes ne peut pas encore être vérifié, puisque l'installation ne peut être mise en service qu'après la réception définitive par les autorités.
- *Mesures de réception* : dans lieux à utilisation sensible (LUS) où le rayonnement attendu atteint au moins 80 % de la valeur limite de l'installation, les autorités exigent en général (sur recommandation du service chargé de la protection contre le RNI) une mesure du rayonnement après la mise en service de la nouvelle installation ou de l'installation modifiée. Cette mesure est à la charge de l'opérateur et réalisée la plupart du temps par une entreprise de mesure accréditée. De cette manière, on vérifie non seulement en théorie, mais aussi dans les conditions réelles d'exploitation si une installation construite respecte la valeur limite de l'installation et ce, dans les conditions les plus défavorables. Certaines divergences entre les calculs et les mesures peuvent survenir, par exemple, en raison d'atténuation différentes, d'obstacles ou de réflexions. Lorsque la mesure conclut à un dépassement, les paramètres d'exploitation de l'installation doivent être adaptés de telle sorte que la valeur limite soit respectée. La fiche de données spécifique au site est révisée en conséquence et remplace immédiatement celle qui a initialement été autorisée. Le service chargé de la protection contre le RNI examine en règle générale aussi bien le rapport de mesures que d'éventuelles adaptations de la fiche de données spécifique au site.
- *Système d'assurance de la qualité (système AQ)* : dans une décision rendue en 2005, le Tribunal fédéral a exigé que l'exploitation d'installations de téléphonie mobile soit mieux contrôlée et que le respect des puissances émettrices et des directions d'émissions autorisées soit garanti. Par la suite, les opérateurs de réseau ont mis en place des systèmes AQ dans leurs centrales, qui sont périodiquement vérifiés et authentifiés par des instances indépendantes. Ces systèmes AQ sont des bases de données dans lesquelles les valeurs paramétrées pour la direction d'émission et la puissance émettrice maximale de chaque installation, pour chaque fréquence et chaque service de radiocommunication, sont saisies et comparées quotidiennement avec les valeurs autorisées. Les divergences par rapport aux paramètres autorisés doivent être corrigées dans les 24 heures si elles peuvent l'être à distance ou, au plus, en l'espace d'une semaine ouvrable. Les services chargés de la protection contre le RNI n'ont pas d'accès direct aux bases de données AQ internes des opérateurs, mais sont informés par écrit deux fois par mois de toutes les divergences et de leurs corrections. Toutefois, les opérateurs sont tenus de garantir la consultation sans réserve de leurs bases de données aux autorités lorsque ces dernières l'exigent. Par ailleurs, les services chargés de la protection contre le RNI ont la possibilité de consulter et de contrôler les données opérationnelles et d'approbation de toutes les installations dans une base de données de l'OFCOM. Les opérateurs sont tenus de mettre ces données à disposition de la base de données de l'OFCOM et de la mettre à jour toutes les deux semaines.

7.2.1.2 Modifications d'installations non soumises à permis de construire

Les cantons ont la possibilité d'autoriser certaines modifications opérationnelles et constructives sans procédure ordinaire d'autorisation même si ces dernières constituent des modifications au sens de l'annexe 1, ch. 62, al. 5, de l'ORNI. À cet effet, la Conférence suisse des directeurs cantonaux des travaux publics, de l'aménagement du territoire et de l'environnement (DTAP) a défini dans une recommandation⁹⁶ des critères spécifiques d'immission. La preuve du respect de ces critères d'immission est apportée par une fiche de données spécifique au site mise à jour en conséquence. Par ailleurs, la modification ne doit pas entraîner de modification du périmètre susceptible d'opposition autour de l'installa-

tion, qui dépend de la puissance, faute de quoi les riverains devraient de nouveau disposer d'une possibilité de faire opposition, ce qui nécessiterait une nouvelle procédure d'autorisation de construire. Tous les cantons n'ont cependant pas recours à cette méthode simplifiée.

Les modifications dites mineures ont été définies par le groupe de travail RNI de la société Cerc'Air dans sa recommandation du 12 août 2015. Il s'agit par exemple de l'échange d'antennes par des antennes présentant un autre diagramme d'antenne ou du transfert de puissance entre antennes et/ou fréquences disposant de différentes VLInst mais d'un même azimut.

Certaines modifications opérationnelles ne relèvent pas d'une modification au sens de l'ORNI et ne doivent par conséquent pas faire l'objet d'une procédure d'autorisation. Ces cas sont précisés dans le Complément de l'OFEV du 28 mars 2013 à la Recommandation d'exécution de l'ORNI pour les stations de base pour téléphonie mobile et raccordements sans fil (WLL). Il s'agit par exemple de redistributions de la puissance émettrice, ou encore de la sommation ou de l'ajout de bandes de fréquences sur de mêmes antennes et de mêmes VLInst. La fiche de données spécifique doit toutefois être actualisée en conséquence, et les critères d'immission décrits ultérieurement doivent être respectés. Le service chargé de la protection contre le RNI vérifie en règle générale que la fiche de données spécifique actualisée respecte les directives édictées par l'OFEV.

La neutralité technologique de la fiche de données spécifique au site, en vigueur depuis 2010, autorise à tout moment l'opérateur à effectuer des modifications de la technologie de transmission (actuellement 2G, 3G, 4G et 5G) au niveau des différentes fréquences sans adapter la fiche de données spécifique au site. De même, les bases légales autorisent à tout moment les redistributions de puissance dans des bandes de fréquences déjà sommées sans adaptation de la fiche de données spécifique au site.

7.2.1.3 Proportion des modifications non soumises à permis de construire par rapport aux demandes ordinaires de permis de construire

Afin d'éviter de longues procédures d'autorisation de construire, les modifications de moindre importance sur les installations de téléphonie mobile peuvent être autorisées au titre de modifications mineures. Cette démarche n'englobe pas seulement des modifications apportées à des installations isolées en raison des besoins changeants de la clientèle, mais aussi l'introduction de nouvelles générations de téléphonique mobile, qui s'accompagnent souvent d'un changement d'antennes. De ce fait, les autorités doivent contrôler un nombre considérablement plus élevé de fiches de données spécifiques au site à la suite de modifications mineures que de fiches dans le cadre de demandes de permis de construire (près de 3 fois plus de cas mineurs que de demandes de permis de construire). Bien que la charge de travail de contrôle pour un cas mineur est en principe inférieure à celle nécessaire pour une fiche de données spécifique au site dans le cadre d'une demande de permis de construire, le contrôle du grand nombre de cas mineurs implique une charge de travail considérable pour les services chargés de la protection contre le RNI. Il en va de même pour les fiches de données spécifiques au site qui sont actualisées en raison de redistributions de puissance et d'ajout ou de sommation de bandes de fréquences, qui ne constituent pourtant pas une modification au sens de l'ORNI. La charge de travail engendrée par ces contrôles peut d'ailleurs considérablement augmenter en présence d'antennes adaptatives, du fait de la grande hétérogénéité des diagrammes d'antennes. La charge administrative reposant sur les services chargés de la protection contre le RNI est à peu près égale dans les deux cas (demande de permis de construire et modification non soumise à autorisation).

7.2.1.4 Déroulement du contrôle de modifications non soumises à permis de construire

Le contrôle de fiches de données spécifiques au site relatives à des modifications non soumises à permis de construire relève de procédures propres à chaque canton. Ainsi, la fiche de données spécifique au site peut soit être uniquement soumise au service cantonal chargé de la protection contre le RNI, soit uniquement à la commune, soit aux deux (cas de figure possibles selon la recommandation de la DTAP). Dans différents cantons, les modifications non soumises à permis

de construire sont examinées uniquement par le service chargé de la protection contre le RNI, sans implication des autorités responsables de l'autorisation de construire. En règle générale, le service chargé de la protection contre le RNI confirme à l'opérateur que les critères de modification mineure sont bel et bien respectés, avant que ce dernier n'active la nouvelle fiche de données spécifique au site et ne mette en œuvre d'éventuelles transformations.

7.2.2 Facteurs d'influence dans l'exécution actuelle

En 2013, l'OFEV a réalisé une analyse de l'exécution des dispositions environnementales⁹⁷ en collaboration avec les responsables de l'exécution des cantons et certains services fédéraux. À cette occasion, les cantons interrogés ont constaté que le domaine du RNI présentait le moins de déficits d'exécution comparativement à d'autres domaines environnementaux.

7.2.2.1 Facteurs de succès

La grande majorité des installations de téléphonie mobile en Suisse sont exploitées dans le cadre des paramètres autorisés, si bien que les violations des valeurs limites aux LUS sont particulièrement rares. L'OFEV et les cantons attribuent ce succès aux facteurs suivants dans le système d'exécution des installations de téléphonie mobile :

- *Bases légales claires et aides efficaces à l'exécution* : l'autorisation d'une nouvelle installation ou la modification substantielle d'une installation existante nécessite une demande de permis de construire, tout en étant soumise à des règles claires ancrées dans l'ORNI et précisées dans l'aide à l'exécution. Les réglementations claires contribuent à ce que tous les acteurs sachent ce qu'il convient de faire. Un modèle de fiche de données spécifique au site (déclaration d'émission) permet de garantir que tous les opérateurs déclarent de manière uniforme l'ensemble des données liées au RNI relatives à l'exploitation d'une installation de même que les calculs de rayonnement pour les LUS les plus exposés aux alentours de l'installation. Diverses autres aides à l'exécution (complément relatif à l'aide à l'exécution, recommandation de la DTAP) définissent les critères relatifs aux modifications mineures, de sorte que de petites modifications opérationnelles ou des changements d'antennes peuvent également être effectués sans demande de permis de construire.
- *Existence de services centraux chargés de la protection contre le RNI* : bien que dans de nombreux cantons, la procédure d'autorisation de construire relève des communes, l'évaluation exigée par le droit environnemental d'installations de téléphonie mobile dans le cadre de demandes de permis de construire est effectuée en règle générale par des services centraux des cantons ou des villes chargées de la protection contre le RNI. Ces services disposent de compétences techniques, d'une expérience et d'outils de travail dont les communes (notamment les plus petites) ne bénéficient pas.
- *Bonne collaboration des services chargés de la protection contre le RNI entre eux et avec les services fédéraux dont ils dépendent* : un échange régulier entre les services chargés de la protection contre le RNI ainsi qu'avec les services fédéraux compétents (OFEV, OFCOM, OFT) dans le cadre du groupe de travail RNI de la société Cercl'Air permet une clarification rapide de questions d'ordre juridique, technique ou relatives à l'exécution et permet précisément de garantir une exécution la plus uniforme possible de l'ORNI au niveau national. Le groupe de travail fait également office d'interlocuteur central des opérateurs commerciaux de téléphonie mobile, de sorte que les demandes de la part des prestataires et à l'intention de ceux-ci peuvent être traitées efficacement.
- *Systèmes de contrôle et d'assurance de la qualité fonctionnels* : le contrôle de la conformité juridique de l'exploitation à l'issue de la procédure d'autorisation de construire est garanti par des systèmes d'assurance de la qualité efficaces internes aux entreprises, ainsi que par des contrôles externes de l'exploitation des antennes, effectués par les services chargés de la protection contre le RNI par le biais de la base de données de l'OFCOM.

Une étude publiée récemment⁹⁸ (disponible uniquement en allemand) s'est penchée sur les facteurs de succès (d'un point de vue des autorités) dans les domaines environnementaux caractérisés par une exécution fonctionnant bien. Dans

le domaine du RNI, des entretiens ont été menés avec des représentants de l'OFEV, de cinq services cantonaux chargés de la protection contre le RNI, de l'Union des villes suisses, de l'Association Suisse des Télécommunications (ASUT) et d'un opérateur de téléphonie mobile. Les auteurs ont identifié quatre facteurs clés qui contribuent de façon déterminante au succès de l'exécution de l'ORNI dans le cas des installations de téléphonie mobile. Trois de ces facteurs se recoupent avec les points mentionnés ci-dessus : réglementations claires dans l'ORNI et bonnes aides à l'exécution, bon travail des autorités communales et cantonales ainsi que des prestataires de téléphonie mobile dans la phase d'autorisation de construire, bon système de contrôle.

En complément, les auteurs reconnaissent que la pression publique (locale) exerce une influence déterminante sur l'exécution. Cette pression résulterait avant tout d'un malaise latent au sein de la population face au rayonnement des antennes de téléphonie mobile. Les activités d'organisations critiques et la couverture médiatique favorisent cette pression. Celle-ci aurait conduit les communes et les cantons à faire d'importants investissements dans l'exécution. Les procédures d'autorisation de construire font preuve de transparence en ce qui concerne les antennes planifiées. Par ailleurs, elles offrent la possibilité de participer, ce qui permet de canaliser les plaintes et de se concentrer sur les cas concrets.

Le principe de précaution inscrit dans la LPE fait l'objet d'une application stricte dans l'ORNI au vu de répercussions sanitaires incertaines à long terme. Sa mise en œuvre est cependant critiquée par divers milieux. Les modalités de mise en œuvre traduisent un signal politique clair volontairement adressé en réponse au malaise latent de la population et à la pression publique (locale). Puisque les valeurs limites de l'installation concrétisent de manière irrévocable le principe de précaution de la LPE, elles offrent également une sécurité juridique pour les acteurs concernés. Si une installation de téléphonie mobile respecte les valeurs limites de l'ORNI ainsi que les autres prescriptions régissant le droit de construction, les autorités compétentes doivent l'autoriser.

La pression exercée (localement) par l'opinion publique à travers de nombreuses oppositions durant les processus d'autorisation de construire ou de demandes concernant l'exploitation d'antennes de téléphonie mobile existantes a favorisé le développement d'exigences strictes et a contribué à la qualité du travail réalisé par les acteurs responsables de l'exécution.

7.2.2.2 Défis

Les cantons relèvent les défis suivants dans l'exécution actuelle de l'ORNI :

- *Augmentation du nombre de fiches de données spécifiques au site à contrôler* : le respect des exigences légales précises et strictes selon lesquelles une installation de téléphonie mobile peut être construite et exploitée nécessite un contrôle précis, et requiert donc beaucoup de temps de la part des services chargés de la protection contre le RNI, aussi bien lors de la procédure d'autorisation que durant l'exploitation.
- *Importante dynamique de la technologie de la téléphonie mobile* : en raison de l'importante dynamique de la téléphonie mobile, la fréquence des petites modifications non soumises à permis de construire ainsi que des nouvelles constructions ou transformations d'installations augmente sans cesse. Dans chaque cas, les fiches de données spécifiques au site doivent être examinées quant à leur conformité légale. Les ressources temporelles de la plupart des services chargés de la protection contre le RNI sont épuisées. Cette situation est d'autant plus problématique qu'un certain nombre de fiches de données spécifiques au site examinées ne sera jamais activé sur le plan opérationnel. L'évolution rapide des technologies de téléphonie sans fil implique également une formation technique et continue des services chargés de la protection contre le RNI, afin de pouvoir examiner intégralement les fiches de données spécifiques au site. Il n'est par ailleurs pas rare que des adaptations des recommandations d'exécution, d'autres moyens auxiliaires ou même de l'ORNI soient nécessaires, comme c'est actuellement le cas dans le cadre du déploiement de la 5G. Des entreprises de mesure, qui effectuent par exemple des mesures de réception dans le cadre des procédures d'autorisation de construire, sollicitent la mise à jour régulière des dispositions relatives aux mesures de l'Institut fédéral de métrologie (METAS) et de l'OFEV.

- *Qualité des fiches de données spécifiques au site des opérateurs de téléphonie mobile* : outre l'augmentation de leur quantité, la qualité moyenne des fiches de données spécifiques au site à autoriser ou à contrôler a récemment diminué. En raison de la qualité insuffisante des fiches de données spécifiques au site soumises, jusqu'à un tiers de celles-ci doivent être corrigées par les opérateurs de téléphonie mobile. Des recensements inexacts de stations, la prise en compte incorrecte ou erronée de parcelles à bâtir libres et des cartographies inexactes des points les plus défavorables (« Worst-Case ») aux LUS sont les erreurs les plus fréquentes, en raison desquelles le requérant doit corriger les fiches de données spécifiques au site avant qu'elles ne puissent être autorisées. Les clarifications d'erreurs et les demandes de correction demandent aux services chargés de la protection contre le RNI un investissement considérable en temps. Les procédures durent d'autant plus longtemps que ces corrections doivent encore être mises en œuvre par l'opérateur.
- *Relation triangulaire entre la commune, le canton et les opérateurs de téléphonie mobile* : une difficulté supplémentaire dans le cadre de la procédure d'autorisation réside en ce que l'autorisation d'une installation de téléphonie mobile, y compris celle de la fiche de données spécifique au site, est l'affaire des communes dans la plupart des cantons. Le service cantonal chargé de la protection contre le RNI est, dans la pratique, l'interlocuteur central des opérateurs, dans la mesure où il s'agit de demandes significatives par rapport au RNI, mais en l'absence de compétence décisionnelle à cet échelon, les demandes doivent être présentées à la commune responsable, qui prend alors une décision – une nouvelle fois avec le soutien des instances cantonales. Bien que la recommandation de la DTAP comporte par exemple certaines recommandations de simplification à cet égard, la communication tripartite entre la commune, le canton et les opérateurs de téléphonie mobile ralentit toutes les procédures d'autorisation et de contrôle et mobilise des ressources des autorités, sans pour autant contribuer à une meilleure protection contre le RNI.
- *Conseil et information* : les craintes émises par une part importante de la population par rapport au rayonnement des stations de base sont une réalité. Les activités de conseil et d'information qui en découlent incombent en grande partie aux services chargés de la protection contre le RNI.
- *Téléphonie mobile en tant que technologie d'importance (inter)nationale sous la responsabilité communale* : la communication sans fil correspond désormais à un besoin fondamental dans l'économie et la société. Afin d'être performantes et durables, les infrastructures des réseaux et les stratégies de téléphonie doivent être planifiées par les prestataires commerciaux de manière harmonisée sur le plan national (voire même sur le plan transfrontalier). Cette évidence contraste considérablement avec les procédures d'autorisation, qui, en règle générale, sont soumises à différentes dispositions communales sur la construction et à différentes procédures cantonales. Les communes ne disposent souvent pas des compétences techniques pour examiner elles-mêmes l'évaluation d'une installation en termes de rayonnement non ionisant. Elles doivent donc compter sur les évaluations d'un organe de contrôle externe (en règle générale le service cantonal chargé de la protection contre le RNI). À quelques réserves près (préservation des caractéristiques de la localité, procédure en cascade), elles sont toutefois contraintes par le droit fédéral à autoriser les installations de téléphonie mobile en cas de conformité du point de vue du RNI. À cet égard, elles s'exposent souvent au mécontentement de la population locale et doivent souvent faire face à des recours relatifs aux installations qu'un service cantonal a évaluées comme étant susceptibles d'être autorisées.

7.2.3 Défis futurs que les autorités responsables de l'octroi de l'autorisation devront relever

L'exécution actuelle de l'ORNI présente deux facettes. On peut constater, d'une part, que la téléphonie mobile fait l'objet d'une réglementation plus précise, tenant mieux compte de ses spécificités, que d'autres domaines environnementaux. Cette réglementation claire et rigoureuse aboutit par conséquent à une mise en œuvre opérationnelle comparativement moins floue. Les évaluations d'installations quant à leur conformité environnementale s'effectuent de façon sensiblement uniforme et structurée sur le plan national. L'inconvénient, d'autre part, réside en une charge administrative considérable tant pour les autorités d'exécution que pour les opérateurs. Au cours des années à venir, la mise en place de réseaux de téléphonie 5G en complément des réseaux existants des prestataires commerciaux nécessitera la construction d'un grand nombre de nouvelles installations de téléphonie mobile, ainsi que l'adaptation de pratiquement toutes celles qui existent déjà sur le territoire. Il en résulte un surplus de travail considérable en ce qui concerne les activités

d'autorisation, de contrôle et de conseil des services concernés des autorités communales et cantonales, qui s'avérera impossible à gérer sans une augmentation substantielle des ressources.

Des répercussions concrètes sur l'activité d'autorisation, de contrôle et de conseil des autorités communales et cantonales sont attendues dans les domaines suivants :

- Recherche d'emplacements pour de nouvelles installations : il faut compter sur une intensification de la recherche d'emplacements pour de nouvelles installations de téléphonie mobile par les opérateurs, en particulier dans les zones urbaines et agglomérations, mais aussi dans les communes de plus petite taille et dans les zones rurales. Cela pourra engendrer une importante charge de travail supplémentaire pour les autorités qui délivrent les autorisations ayant obtenu un droit de regard sur la recherche d'emplacements dans le cadre du modèle de dialogue, étant donné que la population attend un tel engagement de la part des autorités.
- Demande de permis de construire : on s'attend à une augmentation significative, rapide et continue des demandes de permis de construire de nouvelles stations ou de transformations d'installations existantes.
- Rapports de mesure et contrôles supplémentaires : par analogie, le nombre de rapports de mesure à examiner et de contrôles supplémentaires s'accroîtra également.
- Oppositions ou recours : parallèlement à la hausse des demandes de permis de construire, il faut s'attendre à une augmentation – éventuellement disproportionnée – des oppositions ou des recours et, partant, à une charge de travail supplémentaire pour leur traitement. De nombreuses demandes de permis de construire relatives à des transformations ou des constructions de nouvelles installations sont actuellement bloquées par des oppositions et des recours, ce qui entraîne une augmentation de la charge de travail des instances de recours et des autorités qui délivrent les autorisations.
- Modifications non soumises à permis de construire d'installations existantes : en comparaison avec les années précédentes, il faut également s'attendre à une augmentation significative du nombre de fiches de données spécifiques au site soumises pour contrôle en raison de modifications non soumises à permis de construire.
- Conseil : en raison de l'augmentation du nombre de nouvelles constructions ou de transformations d'installations de téléphonie mobile, il faut s'attendre à un accroissement significatif des demandes de la part de la population. L'utilisation planifiée de la nouvelle technologie de téléphonie mobile 5G dans des plages fréquentielles plus élevées conduira à une augmentation des demandes de la part de riverains et de citoyens préoccupés.

Aujourd'hui déjà, l'exploitation d'un réseau de téléphonie mobile est dynamique et se caractérise par de fréquentes adaptations des installations afin de satisfaire les besoins les plus variés de la clientèle. L'introduction de la 5G permet des adaptations encore plus rapides et ciblées et nécessite dès lors un pilotage très flexible du réseau. Afin de pouvoir garantir le contrôle du respect des valeurs limites au cours de la procédure d'autorisation et de l'exploitation de l'installation conformément à l'autorisation, l'actuel système d'exécution, calibré à une exploitation plutôt statique des réseaux, se doit d'être adapté.

Dans le cadre de son assemblée générale annuelle du 19 septembre 2019, la DTAP a précisé que les craintes de la population doivent être prises au sérieux et qu'une évaluation des risques des nouvelles technologies doit être effectuée⁹⁹. Lorsque les prochaines concessions (p. ex. gamme des ondes millimétriques) seront octroyées, les aides à l'exécution de la Confédération devront être disponibles. Il faudra également disposer d'études scientifiques se penchant sur l'existence de risques pour la santé de la population (évaluation des risques). De plus, une partie des revenus des concessions des opérateurs mobiles devrait être utilisée pour la recherche dans le domaine des risques sanitaires et dans l'innovation et les développements de réseaux.

7.3 Travaux actuels relatifs à l'ORNI et aux aides à l'exécution

En raison de l'évolution technologique continue de la téléphonie mobile, les instruments d'exécution doivent également être périodiquement ajustés ou adaptés. Les travaux décrits ci-dessous sont actuellement en cours, indépendamment des activités du groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement.

7.3.1 Simplification de la procédure d'autorisation

L'ORNI ne se prononce pas sur les procédures d'autorisation qui, concernant la téléphonie mobile commerciale, relèvent de la compétence des communes et des cantons. Diverses interventions sur le plan politique ont déjà exigé des allégements dans l'exécution. La Commission des transports et des télécommunications du Conseil national s'est notamment adressée au Conseil fédéral pour solliciter une simplification des laborieuses procédures d'autorisation relatives aux modifications d'installations émettrices existantes. Dans sa lettre du 3 août 2018 à l'attention de la DTAP, l'ancienne conseillère fédérale Doris Leuthard a salué une telle simplification, pour autant que le respect des dispositions de l'ORNI reste garanti. Dans le même temps, elle a sollicité le soutien de la DTAP, car d'importants domaines de l'exécution relèvent de la compétence des cantons.

Fin 2018, la DTAP a chargé la Conférence des chefs des services de la protection de l'environnement (CCE) de garantir la participation des cantons et la coordination avec la DTAP dans le cadre du groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement de la Confédération, et d'encourager une simplification des procédures. Les répercussions des résultats des travaux du groupe de travail de la Confédération sur les recommandations de 2013 de la DTAP relatives à l'autorisation d'installations de téléphonie mobile devront ensuite être analysées.

La CCE a chargé la société Cercl'Air d'évaluer les possibilités d'adaptation de l'exécution pour aboutir à plus d'efficacité et de simplification dans les procédures d'autorisation. L'équipe de projet, constituée de représentants de services cantonaux chargés de la protection contre le RNI, de l'OFEV et de la Conférence Suisse des Secrétaires des Travaux Publics, a commencé ses travaux en janvier 2019.

7.3.2 Révision 2019 de l'ORNI

L'ORNI est technologiquement neutre et s'applique aussi bien à la technologie de téléphonie mobile de type 3G (UMTS), 4G (LTE) et 5G (*New Radio*) qu'à des technologies futures. Au regard de la prochaine évolution technique de la téléphonie mobile, une révision de l'ORNI était toutefois nécessaire. Celle-ci a comblé des lacunes en matière de réglementation, qui auraient pu également entraver le développement du réseau 5G :

- La révision comprenait, d'une part, la fixation d'une valeur limite de l'installation pour les fréquences comprises entre 900 MHz et 1,8 GHz. Pour cette gamme de fréquences, seule une valeur limite d'immission était fixée dans l'ORNI, sans précision de la valeur limite de l'installation. Dans le cadre de l'attribution des nouvelles fréquences de téléphonie mobile début 2019, des fréquences de la bande de 1,4 GHz ont toutefois été récemment libérées pour la téléphonie mobile.
- D'autre part, un principe d'évaluation des antennes dites adaptatives (« beamforming » ou formation de faisceaux) a été ancré dans l'ORNI. L'utilisation de telles antennes ne cesse de croître.
- Enfin, avec la révision de l'ordonnance, l'OFEV a été chargé de lancer un monitoring du RNI, qui doit renseigner sur l'exposition de la population au RNI (cf. point 10.2).

L'ordonnance révisée a été adoptée le 17 avril 2019 par le Conseil fédéral et entrée en vigueur le 1^{er} juin 2019.¹⁰⁰

7.3.3 Aide à l'exécution relative aux antennes adaptatives

À la suite de l'entrée en vigueur de l'ORNI révisée, un complément à l'aide à l'exécution en vigueur concernant les installations de téléphonie mobile doit être publié fin 2019, indiquant comment les antennes adaptatives peuvent être évaluées dans le cadre de l'autorisation. Ce complément s'articulera autour des axes suivants :

- L'installation d'antennes adaptatives ne doit pas être empêchée.
- Le principe de limitation préventive des émissions doit être respecté.
- L'ordonnance révisée doit pouvoir être mise en œuvre de façon réaliste.

L'élaboration de ce complément à l'aide à l'exécution concernant la téléphonie mobile sera suivie par un groupe d'experts rassemblant les différents acteurs concernés, tels que des autorités d'exécutions, des opérateurs de téléphonie mobile et de l'Association « Médecins en faveur de l'Environnement ».

7.3.4 Évaluation de la méthode de mesure

En automne 2017, un groupe de travail – constitué de représentants de l'OFEV, de l'OFCOM, de METAS et de Swisscom – a commencé des travaux visant à évaluer l'actuelle méthode de mesure du rayonnement de téléphonie mobile. Les opérateurs de téléphonie mobile avaient préalablement émis des critiques à l'encontre de la méthode de mesure recommandée par l'OFEV et METAS (méthode dite par balayage), reprochant à cette dernière d'être difficilement reproducible et de systématiquement surestimer le rayonnement déterminant.

Du point de vue de l'OFEV, la présence de divergences systématiques entre les méthodes de mesure et de calcul poserait en effet des problèmes, imposant de corriger les recommandations d'exécution.

METAS et l'OFEV ont mis sur pied un projet visant à comparer la méthode de balayage avec la méthode du calcul de la valeur moyenne. Les recherches se sont achevées à l'été 2019 et sont actuellement en cours d'évaluation.

Selon les résultats obtenus, une révision des recommandations de mesure de METAS et de l'OFEV ou une adaptation de la méthode de calcul pourrait se révéler nécessaire.

8 Options

Sur la base des faits présentés dans les chapitres précédents, différentes mesures et options sont envisageables en ce qui concerne la prochaine génération de téléphonie mobile 5G. Le groupe de travail a identifié un total de 58 mesures et les a regroupées par thèmes (voir Annexe 1 : Mesures examinées). Les options possibles ont ensuite été élaborées et évaluées selon leurs effets sur la base de divers critères. Les voici :

- 1^{re} option (point 8.1) : statu quo en ce qui concerne les exigences de l'ORNI
- 2^e option (point 8.2) : pas de modification de la valeur limite de l'installation, mais exigences plus strictes dans l'ORNI concernant les petites cellules et les antennes adaptatives (proposition de Médecins en faveur de l'environnement [MfE])
- 3^e option (point 8.3) : relèvement et uniformisation de la valeur limite de l'installation à 6 V/m et évaluation basée sur la valeur moyenne (proposition de l'Association suisse des télécommunications [asut])
- 4^e option (point 8.4) : relèvement de la valeur limite de l'installation à 11,5 V/m par opérateur (proposition de la Commission fédérale de la communication [ComCom])
- 5^e option (point 8.5) : relèvement et uniformisation de la valeur limite de l'installation à 20 V/m (proposition de l'asut)

Le groupe de travail a évalué les mesures, puis les options, sur la base de toute une série de critères. Toutes les options respectent la valeur limite d'immissions, qui protège contre les effets sanitaires scientifiquement prouvés. Le principe de précaution de la LPE n'est pas pris en compte de la même manière dans les diverses options. Par conséquent, les marges de précaution sont différentes selon les éventuels effets sanitaires à long terme considérés.

Le Tableau 18 donne un aperçu des options évaluées selon les critères suivants.

- Nombre de stations de téléphonie mobile supplémentaires requises par l'introduction de la 5G : le nombre de stations de téléphonie mobile supplémentaires et de réaménagement des installations existantes nécessaires varie d'une option à l'autre. Par réaménagement, on entend la planification, l'installation et l'exploitation d'équipements 5G, y compris des antennes adaptatives, sur un site existant. Les chiffres sont basés sur une estimation de la branche de la téléphonie mobile (cf. ci-dessous).
- Évolution (par rapport à aujourd'hui) de l'exposition la plus élevée due aux stations de téléphonie mobile dans les lieux à utilisation sensible (LUS) : l'exposition dépend du niveau de la valeur limite de l'installation (VLInst) et du mode d'exploitation dans lequel la VLInst doit être respectée (puissance d'émission maximale ou moyenne dans le temps).
- Évolution (par rapport à aujourd'hui) de l'exposition due aux téléphones portables : les évolutions de l'exposition peuvent être déduites des données du chapitre 5.
- Moyens financiers : l'estimation de l'impact financier des options repose sur la somme des investissements, basés sur les coûts de l'extension de certaines installations individuelles (voir Tableau 10), et des coûts d'exploitation sur cinq ans.
- Temps nécessaire pour modifier la législation : un ajustement au niveau de l'ordonnance (p. ex. modification de l'ORNI) devrait prendre deux ans et un ajustement au niveau de la loi, cinq ans.
- Délai d'introduction de la 5G à l'échelle nationale : en Suisse, l'introduction de la 5G a déjà commencé et se poursuit. Selon l'option choisie, l'extension se fera plus rapidement ou plus lentement qu'auparavant. Le temps qui s'écoulera jusqu'à l'introduction généralisée de la 5G dépendra du temps nécessaire pour modifier la législation et de celui nécessaire pour construire de nouvelles an-

tennes et réaménager les sites existants. Les estimations de la période de mise en œuvre se fondent sur la construction de 1000 nouveaux sites par an. Aujourd’hui, environ 500 nouveaux sites sont construits ou transformés chaque année.

Estimation du nombre de stations de téléphonie mobile supplémentaires requises par l’introduction de la 5G

Il existe en Suisse 8542 installations de téléphonie mobile qui ont une puissance émettrice supérieure à 6 W ERP (voir point 4.3.1). Si les installations de différents opérateurs se trouvant sur un même site sont comptées séparément, ce chiffre passe à 10 943 selon l’OFCOM (état : décembre 2018). D’après le point 4.3.6.1, l’introduction de la 5G nécessite une puissance émettrice 12,4 fois plus grande (ou 10,9 dB) que celle disponible aujourd’hui. La procédure suivante a été appliquée pour estimer le nombre d’installations de téléphonie mobile nécessaire au déploiement d’un réseau 5G de bonne qualité dans toute la Suisse.

- L’estimation part du principe que le nombre d’installations supplémentaires requises est, selon une première approximation, proportionnel à la puissance émettrice additionnelle nécessaire.
- En fonction des options, il peut être possible d’augmenter la puissance des installations par rapport à la situation actuelle. Ainsi, le relèvement de la valeur limite de l’installation à 20 V/m prévu par l’option 5 conduirait à une multiplication de la puissance par un facteur 16 (ou 12 dB).
- L’utilisation d’un facteur de correction pour l’évaluation des antennes adaptatives permet également une augmentation de la puissance. Ce facteur de correction prend en compte le fait que, en moyenne, les antennes adaptatives entraînent une exposition plus faible que les antennes conventionnelles. Un facteur de réduction de 6 dB a été appliqué pour les options 1, 3 et 4¹⁰¹. Pour l’option 2, un tel facteur n’est pas prévu et pour l’option 5, il n’est pas nécessaire.
- En multipliant ces facteurs (ou en additionnant les dB), il est possible de connaître la puissance additionnelle nécessaire à l’introduction de la 5G sur les différents sites.
- La multiplication du nombre d’installations existantes par la puissance encore nécessaire donne le nombre total d’installations supplémentaires requises.
- Selon les options, un certain nombre d’installations existantes peuvent être modifiées puis exploitées pour la 5G. Elles peuvent ainsi être déduites du nombre total précité (p. ex. 5149 installations pour ce qui est de l’option 1).
- Pour les sites supplémentaires nécessaires, la part de la puissance nécessaire pour la 4G (facteur 0,92) est déduite, étant donné que c’est uniquement des installations 5G qui doivent être mises en place. Le résultat final obtenu correspond au nombre total d’antennes supplémentaires nécessaires pour le déploiement de la 5G. Ce résultat apparaît dans le Tableau 18.

La Figure 15 présente les options classées selon les critères suivants :

- temps nécessaire pour l’obtention d’une desserte en 5G de bonne qualité dans toute la Suisse (axe des x) ;
- niveau et qualité de la couverture 5G (axe des y en bleu) ;
- exposition la plus élevée due aux stations de téléphonie mobile dans les lieux à utilisation sensible (LUS) (axe des y en vert).

Des catégories assez larges (de 0 à 10 ans, de 10 à 20 ans, de 20 à 30 ans, et plus de 30 ans) sont utilisées pour indiquer le temps nécessaire à l’atteinte d’une couverture 5G de bonne qualité selon le standard IMT-2020 de l’UITet couvrant toute la Suisse.

Les surfaces triangulaires bleues montrent, de façon qualitative, dans quelle mesure la mise en place de la 5G, dont le déploiement a déjà débuté en 2019, progresse et quelle qualité finale peut être atteinte selon l’option en question.

L'axe y vert représente, pour les différentes options, l'exposition maximale autorisée dans les LUS émanant d'une installation de téléphonie mobile. Par contre, ce graphique n'indique ni la distribution spatiale de l'exposition ni le nombre de personnes et la durée de leur séjour prévue dans les lieux exposés ; par conséquent, il n'indique pas l'exposition moyenne de la population. Par ailleurs, l'indicateur susceptible de représenter la majeure partie de l'exposition totale à laquelle les utilisateurs sont soumis en raison de la liaison montante des terminaux n'est pas considéré dans ce graphique. L'impact des options envisagées sur l'exposition provoquée par les téléphones mobiles est indiqué dans le Tableau 18.

Commentaires généraux sur les options

Le groupe de travail formule les observations générales suivantes :

- L'Union des villes suisses (UVS) recommande une expertise économique du devis des conséquences financières des cinq options. De son point de vue, les bases nécessaires à une évaluation de la viabilité économique dans le cadre du principe de précaution environnementale n'existent pas.
- L'association Médecins en faveur de l'environnement (MfE) souligne que, compte tenu de l'augmentation exponentielle actuelle de la quantité de données transmises, toutes les options exigeront tôt ou tard une densification des réseaux. En outre, elle se pose la question de la durabilité de certaines options et, en particulier, la question de la rapidité avec laquelle les valeurs limites seraient à nouveau atteintes si elles devaient être relevées maintenant.
- L'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) souligne qu'en Suisse une desserte mobile fiable est de la plus haute importance pour les autorités et organisations chargées du sauvetage et de la sécurité (AOSS). La population devrait toujours être en mesure de passer un appel d'urgence. Les services d'urgence dépendent de la téléphonie mobile pour faire face à la situation. Une réduction de la desserte en téléphonie mobile représente donc un risque important en matière de sauvetage et de sécurité.
- Pour la mise en œuvre de la 5G, les opérateurs de téléphonie mobile ont besoin d'un cadre leur permettant de démarrer rapidement l'extension du réseau et de mettre en place une desserte nationale en 5G de qualité en cinq ans environ. Si tel n'est pas le cas, les réseaux mobiles suisses ne seront plus compétitifs sur le plan international et l'introduction de nouvelles applications et de nouveaux services dans d'autres secteurs sera retardée.
- Sunrise note en outre que la conformité des options avec les objectifs de la stratégie « Suisse numérique » ainsi qu'avec le manque de disponibilité des emplacements évoqué au point 7.1 n'a pas été évaluée explicitement et n'a été incluse qu'implicitement dans les options 4 et 5.

Tableau 18 : Vue d'ensemble des cinq options avec des informations sur le nombre de stations de téléphonie mobile supplémentaires, l'évolution de l'exposition, les coûts et le temps de mise en œuvre nécessaires à l'obtention d'une desserte en 5G nationale de qualité en Suisse. L'option 2 ne pourra pas assurer une desserte en 5G comparable.

N° de l'option	Nom	Nombre de stations de téléphonie mobile supplémentaires	Modification (par rapport à aujourd'hui) de l'exposition la plus élevée due aux stations de téléphonie mobile dans les lieux à utilisation sensible (LUS)	Modification (par rapport à aujourd'hui) de l'exposition due aux téléphones portables	Moyens financiers Investissements	Moyens financiers Exploitation (sur 5 ans)	Temps nécessaire pour modifier la législation	Temps nécessaire pour la mise en œuvre d'une desserte de qualité
1	Statu quo en ce qui concerne les exigences de l'ORNI	26 500 + réaménagement 5000 installations existantes	Reste quasiment la même	Diminue légèrement	7,7 milliards	2,1 milliards	0 an	20-30 ans
2	Pas de modification de la VLInst, mais exigences plus strictes dans l'ORNI concernant les petites cellules et les antennes adaptatives	46 500	Reste la même	Diminue légèrement	13 milliards	3,5 milliards	5 ans	> 30 ans
3	Relèvement et uniformisation de la VLInst à 6 V/m et évaluation basée sur la valeur moyenne	7500 + réaménagement de toutes les installations existantes	Augmente	Diminue légèrement	3,2 milliards	0,8 milliard	2 ans	10-20 ans
4	Relèvement de la VLInst à 1,5 V/m par opérateur	Réaménagement de 3000 installations existantes ; utilisation conjointe de 3500 installations existantes	Augmente fortement	Reste la même	0,9 milliard	0,3 milliard	2 ans	0-10 ans
5	Relèvement et uniformisation de la VLInst à 20 V/m	0 macrocellules supplémentaires, réaménagement de 8500 stations existantes, 2000 densifications de petites cellules (cela concerne 50 % des microcellules actuelles)	Augmente fortement	Reste la même	1,0 milliard	0,3 milliard	2 ans	0-10 ans

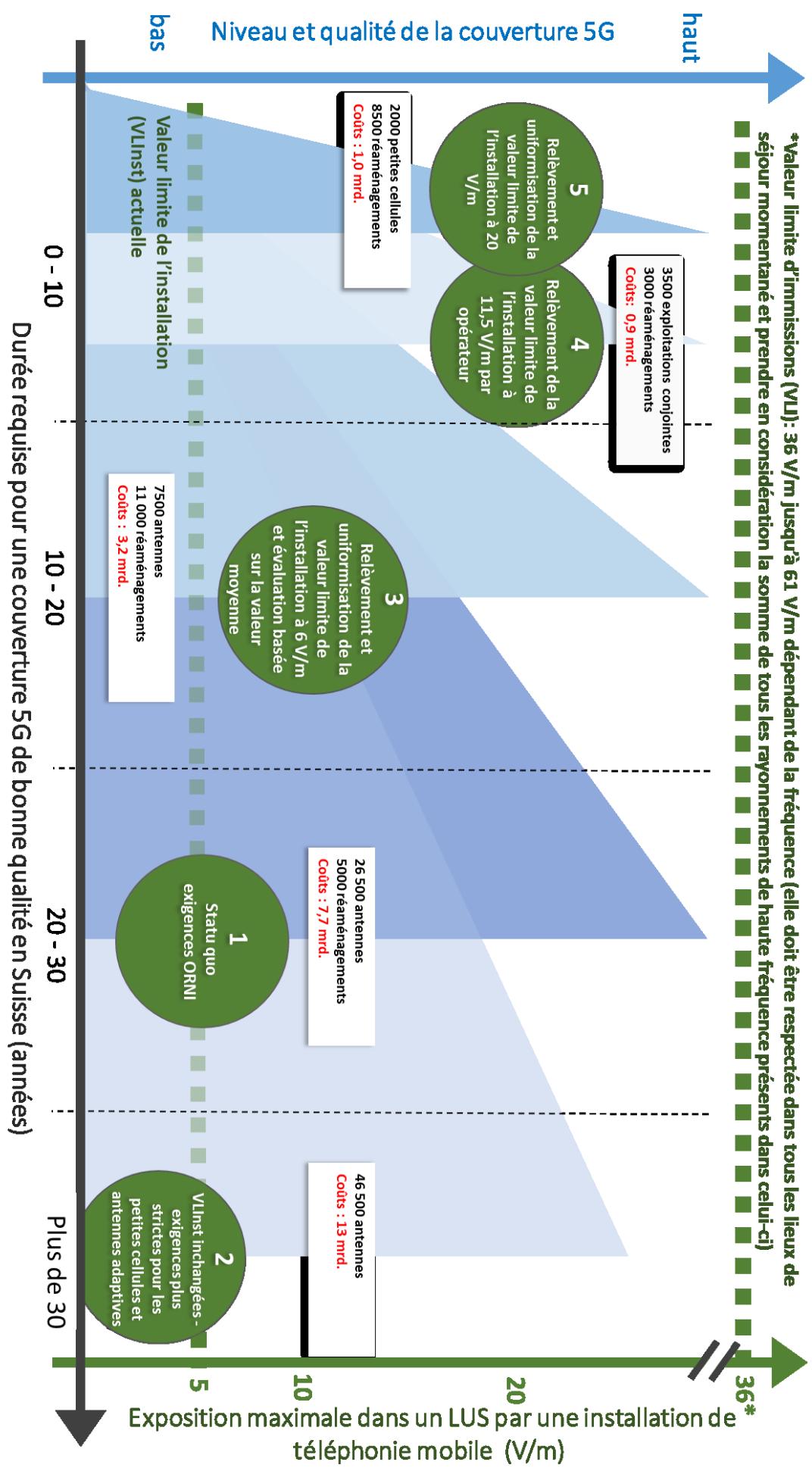


Figure 15 : Évaluation des cinq options selon les critères « impact sur l'exposition », « temps requis pour la mise en œuvre » et « coûts » avec les chiffres de la branche

8.1 1^{re} option Statu quo en ce qui concerne les exigences de l'ORNI

8.1.1 Caractérisation

L'ORNI n'est pas adaptée, les valeurs limites existantes (VLI et VLInst) restent inchangées.

Le cas échéant, la méthode de mesure est revue et ajustée si nécessaire.

8.1.2 Évaluation

8.1.2.1 Performances et coûts

Selon les prévisions, le volume des données échangées via les réseaux mobiles continuera de croître fortement. L'extension des grandes stations et la construction d'antennes supplémentaires alimentant de petites cellules dans les zones densément peuplées seront également nécessaires à l'avenir. Étant donné que la VLInst ne sera pas relevée et que la majorité des sites existants ne pourra pas être étendue à la 5G, les opérateurs de téléphonie mobile estiment qu'environ 26 500 nouveaux sites et des réaménagements de 5000 stations existantes seront nécessaires pour le déploiement de la 5G. Si les stations, nouvelles et existantes, peuvent être équipées d'antennes adaptatives, il sera possible de créer à l'échelle nationale un réseau 5G efficace, conforme au standard IMT-2020 de l'UIT.

D'après les calculs de la branche, il faut compter environ 7,7 milliards de francs pour les investissements correspondants et environ 2,1 milliards pour l'exploitation sur cinq ans.

8.1.2.2 Exposition

Cette option triple ou quadruple le nombre d'emplacements d'antenne par rapport à aujourd'hui. Lorsque le réseau est densifié, les distances entre les téléphones portables et les stations de base les plus proches diminuent et il y a généralement moins d'obstacles sur la liaison radio. Il en résulte une diminution de la puissance d'émission des téléphones et donc une diminution de l'exposition due à la liaison montante.

En moyenne, l'exposition due à la liaison descendante en provenance des stations de base peut légèrement augmenter. La répartition de l'exposition devient plus homogène, les zones sans liaison descendante significative deviennent moins fréquentes (sauf pour les antennes adaptatives et la formation de faisceaux, « beamforming » en anglais). En raison du plus grand nombre de stations de téléphonie mobile, le nombre de LUS à proximité de celles-ci va également augmenter. Toutefois, la VLInst restant inchangée, l'exposition maximale ne peut être plus élevée qu'auparavant dans les LUS pour les antennes conventionnelles ; pour les antennes adaptatives, par contre, elle pourra augmenter à court terme à certaines conditions.

Enfin, les effets de l'option dépendent de la conception de la méthode de mesure ajustée. La méthode par tramage (moyenne spatiale) pourrait généralement fournir des champs d'intensité plus faibles que la méthode par balayage utilisée actuellement. Des puissances d'émission plus élevées pourraient ainsi être autorisées ultérieurement sur la base de la mesure (dans le cadre des exigences légales), ce qui se traduirait par une augmentation de l'exposition moyenne. Toutefois, la conception de la méthode de mesure n'aura qu'un effet limité sur le nombre d'antennes supplémentaires requis.

8.1.3 Mise en œuvre

8.1.3.1 Adaptations nécessaires et responsabilités

Aucune adaptation légale n'est nécessaire. La charge de travail se limite à la révision de l'aide à l'exécution et, le cas échéant, à l'adaptation de la méthode de mesure dont l'OFEV et le METAS sont responsables. Par rapport à aujourd'hui, les autorités d'exécution devront faire face à une charge de travail supplémentaire considérable, car un grand nombre

de nouvelles stations et de nombreuses transformations doivent être autorisées et contrôlées. Cette charge sera encore nettement plus importante si l'on construisait plus de stations qu'aujourd'hui (1000 au lieu de 500 par an).

8.1.3.2 Calendrier

Les travaux nécessaires liés à la méthode de mesure prendraient environ un an et demi. Selon les opérateurs, l'extension du réseau nécessitera la construction d'environ 26 500 stations supplémentaires et le réaménagement de 5000 sites. Le temps nécessaire à la recherche, la planification et la mise en œuvre de ces sites est estimé à entre 20 et 30 ans. Toutefois, avec un taux de construction inchangé par rapport à aujourd'hui, la construction d'un réseau 5G national efficace pourrait prendre beaucoup plus de temps.

8.2 2^e option Pas de modification de la valeur limite de l'installation, mais exigences plus strictes dans l'ORNI concernant les petites cellules et les antennes adaptatives

8.2.1 Caractérisation

Les valeurs limites existantes (VLInst de 4 à 6 V/m et VLI) restent valables. Un paquet de mesures garantira à l'avenir au moins le niveau de protection actuel contre le RNI. En particulier, on évitera qu'en appliquant un facteur de correction pour les antennes adaptatives conformément à l'ORNI révisée, ce qui fait actuellement l'objet de discussions, des expositions à court terme plus élevées se produisent. Les diverses mesures constituent une incitation supplémentaire au déploiement progressif d'un réseau de fibre optique, soit un réseau fixe, à haute performance, qui devrait, dans la mesure du possible, remplacer la desserte en services de communication mobile par des macroantennes pouvant être réaménagées.

- La VLInst actuelle s'appliquera désormais également aux petites installations (< 6 W ERP), car celles-ci sont de plus en plus répandues et affectent également de plus en plus les LUS.
- Pour les antennes adaptatives, le mode d'exploitation déterminant est celui entraînant la plus forte exposition techniquement possible dans les LUS et n'étant pas corrigé comme dans l'option visant le statu quo.
- La responsabilité du respect des valeurs limites est laissée à l'exploitant de l'installation. Les dépassements des valeurs limites doivent être sanctionnés par des amendes.
- Le réseau de téléphonie mobile doit être déchargé au moyen d'un réseau fixe efficace, dont les points de raccordement des ménages, de l'administration et des entreprises seront équipés de microstations pour une desserte mobile exploitée en fonction de la demande.
- Les stations émettrices de type 2G et 3G doivent être abandonnées ou converties en 5G au plus tard dans deux ans afin d'éviter de nouvelles augmentations de puissance des installations.
- Les autorités informer régulièrement le public des risques sanitaires posés par les applications de radiocommunication et lui donnent des instructions sur la manière d'utiliser les technologies numériques d'information et de communication pour réduire à un minimum l'exposition au rayonnement.

8.2.2 Évaluation

8.2.2.1 Performances et coûts

L'introduction d'une VLInst pour les installations d'une puissance d'émission inférieure à 6 W ERP conduira probablement à ce que chaque microstation soit soumise à une procédure formelle d'octroi de permis de construire (de compétence cantonale) avec une déclaration détaillée des émissions sous la forme d'une fiche de données spécifique au site. Il

s'agit d'un processus délicat. Si des produits normalisés sont utilisés pour les microstations, il conviendrait d'examiner si des expertises-type pourraient simplifier la procédure d'autorisation.

L'application de la règle d'évaluation actuelle (puissance maximale avec un trafic de données maximal sans prise en compte de la variabilité spatiale) aux antennes adaptatives conduit à une réduction de leurs performances. La nouvelle technologie ne peut donc exploiter tout son potentiel.

L'évolution vers des cellules radio plus petites est favorisée par la 5G¹⁰². Les petites cellules nécessitent plus d'emplacements d'antenne. Dans ces conditions, l'introduction de la 5G n'est possible qu'avec plus de 46 500 sites supplémentaires (macrocellules sans antennes adaptatives), ce qui ne permet pas de répondre aux exigences de l'UIT (IMT-2020) en intérieur.

Selon les estimations de l'OFCOM, il faut compter environ 13 milliards de francs pour les investissements correspondants et environ 3,5 milliards pour l'exploitation sur cinq ans. Les ressources financières pour l'extension des réseaux de fibre optique n'ont pas été incluses dans cette estimation.

Les capacités libérées par l'abandon de la 2G et de la 3G ne sont pas suffisantes pour introduire la 5G conformément à l'objectif de l'UIT (IMT-2020). En outre, diverses applications continuent de dépendre des anciennes générations de téléphonie mobile.

8.2.2.2 Exposition

Le paquet de mesures garantit le maintien du niveau actuel de protection des personnes vivant à proximité des antennes. Même durant de courtes périodes, aucune exposition à une valeur supérieure à la VLInst ne se produira. Le nombre de LUS proches des stations de téléphonie mobile augmentera avec la multiplication du nombre d'antennes. L'exposition moyenne due à la liaison descendante en provenance de celles-ci peut augmenter légèrement.

Cette option peut entraîner une diminution de l'exposition due à la liaison montante lors de l'utilisation du téléphone portable, la liaison radio devenant plus courte en raison du grand nombre d'emplacements d'antenne supplémentaires. Ainsi, le téléphone émettra à une puissance moindre, car il y a moins d'obstacles entre celui-ci et la station de base susceptibles d'atténuer les signaux.

8.2.3 Mise en œuvre

8.2.3.1 Adaptations nécessaires et responsabilités

Les concessions de téléphonie mobile sont neutres sur le plan technologique. Si les opérateurs de réseaux ne déconnectent pas volontairement les stations émettrices 2G et 3G et si l'État doit donc les y obliger, les concessions devront être adaptées de manière à ce que certaines technologies ne soient plus autorisées.

Étant donné que la priorisation de l'infrastructure du réseau fixe sur la téléphonie mobile a été rejetée par le Parlement dans le contexte de la révision totale de la LTC, on peut supposer que la mise en œuvre de l'option nécessitera des adaptations légales.

L'abandon des mesures de réception devrait être recommandé dans le cadre d'une aide à l'exécution.

La charge des autorités d'exécution subira une augmentation considérable par rapport à aujourd'hui puisqu'un grand nombre de nouvelles stations et de nombreuses transformations devront être autorisées et contrôlées.

8.2.3.2 Calendrier

La mise en œuvre prendra plusieurs années si un processus législatif se révèle nécessaire. L'introduction de la 5G en Suisse sera retardée en raison de la nécessité de trouver de nouveaux sites et de construire des antennes supplémentaires.

Les travaux nécessaires à l'adaptation de la législation prendront environ cinq ans et le temps nécessaire à la construction de 46 500 nouvelles stations pour un déploiement complet de la 5G est estimé à plus de 30 ans. Le temps nécessaire au déploiement des réseaux de fibre optique n'a pas été pris en compte dans cette estimation.

8.3 3^e option Relèvement et uniformisation de la valeur limite de l'installation à 6 V/m et évaluation basée sur la valeur moyenne

8.3.1 Caractérisation

Diverses mesures visent à augmenter la puissance d'émission en vue de la 5G sans modifier de manière significative la VLInst. Les voici :

- La valeur limite de l'installation est harmonisée de 4,5 ou 6 V/m aujourd'hui à une valeur uniforme de 6 V/m, la VLI actuelle restant inchangée.
- La valeur moyenne journalière du rayonnement est utilisée comme base d'évaluation des antennes conventionnelles (contrairement à l'approche actuelle de la valeur maximale). Pour les antennes adaptatives, la mise en œuvre de la réglementation introduite lors de la révision de l'ORNI de 2019 est suffisante.
- Lors du calcul de l'exposition relative à la partie conventionnelle d'une installation, la valeur moyenne journalière est prise en compte par un facteur de réduction fixe et uniforme de 2,5 pour la puissance d'émission. Pendant l'exploitation, le respect de la valeur moyenne journalière peut être assuré par une solution logicielle.
- L'intensité du champ doit être calculée de manière plus réaliste en tenant mieux compte des effets d'atténuation.
- Il convient de procéder à une extrapolation à la puissance supérieure après une mesure de réception (sans renouvellement de l'autorisation), s'il résulte de celle-ci des valeurs inférieures aux valeurs calculées.
- La distance jusqu'à laquelle les personnes vivant à proximité des antennes peuvent faire opposition (rayon d'opposition) est fixée à 1 km.
- Des microcellules jusqu'à 100 W ERP peuvent être utilisées sans devoir prouver que la VLInst est respectée, mais il faut tenir compte de simples réglementations de distance en ce qui concerne le respect de la VLI.
- Un maximum de cinq LUS figure sur la fiche de données spécifique au site. Selon l'ORNI en vigueur, l'intensité du champ électrique dans les trois LUS les plus exposés doit être indiquée pour chaque installation. Cependant, dans la pratique, beaucoup plus de LUS sont signalés dans certains cas.
- Les parcelles non bâties ne doivent être prises en considération que si elles sont concernées par un projet de construction.

8.3.2 Évaluation

8.3.2.1 Performances et coûts

Grâce aux différentes mesures, le potentiel de puissance global peut être multiplié par 4,4. Avec cette puissance d'émission supplémentaire, la 5G peut être installée et mise en service sur la plupart des stations existantes. Pour atteindre les performances de la 5G conformément au standard IMT-2020 de l'UIT, 7500 emplacements supplémentaires ainsi que des réaménagements de toutes les stations existantes sont nécessaires. D'après les calculs de la branche, il faut compter

environ 3,2 milliards de francs pour les investissements correspondants et environ 0,8 milliard pour l'exploitation sur cinq ans.

L'harmonisation de la VLInst (de 4 ou 5 V/m à 6 V/m) conduit non seulement à une augmentation de la puissance d'un facteur 1,44, mais aussi à une simplification de la mise en œuvre de l'ORNI. En introduisant un facteur de réduction fixe relatif à la moyenne journalière en ce qui concerne la puissance d'émission lors du calcul de l'exposition, la puissance d'émission déterminante correspondante équivaut à la puissance d'émission moyenne actuelle. Ne pas faire entrer les microcellules jusqu'à 100 W ERP dans le champ d'application de la VLInst favorise et accélère la densification du réseau de téléphonie mobile avec de petites cellules. La limitation du nombre de LUS devant figurer sur la fiche de données spécifique au site permet de réduire la charge en matière de calcul et de mesures de contrôle.

8.3.2.2 Exposition

L'augmentation de la puissance d'émission d'un facteur 4,4 entraîne une augmentation de l'exposition maximale due à la liaison descendante d'un facteur 2,1 ($\sqrt{4,4}$). La liaison descendante augmente également en moyenne. Par exemple, un facteur de réduction fixe de 2,5, relatif à la moyenne journalière, signifie qu'une antenne largement exploitée peut émettre 2,5 fois plus qu'aujourd'hui, ce qui augmente l'exposition de 58 % ($\sqrt{2,5}$). Dans ces conditions, la moyenne journalière peut être bien supérieure à 6 V/m, ce qu'une solution logicielle devrait permettre d'éviter.

L'exposition due à la liaison montante ne change pas de manière significative par rapport à aujourd'hui, car le réseau n'est pas très densifié.

8.3.3 Mise en œuvre

8.3.3.1 Adaptations nécessaires et responsabilités

Les adaptations nécessaires à la mise en œuvre de l'option sont du ressort du Conseil fédéral et de l'OFEV. Les procédures d'octroi d'autorisation relèvent de la compétence des cantons. Il est nécessaire d'adapter l'ORNI et les recommandations d'exécution correspondantes de la Confédération et des cantons.

Les modifications apportées aux nombreuses stations existantes doivent faire l'objet d'une procédure ordinaire d'octroi de permis de construire, car elles ne sont pas mineures et ne répondent pas aux critères mineurs de la recommandation de la DTAP. Les charges des autorités d'exécution subiront donc une augmentation importante par rapport à aujourd'hui.

Même s'il n'était plus nécessaire d'entamer une procédure d'octroi de permis de construire pour les augmentations de puissance après les mesures de réception, le respect des valeurs limites devrait néanmoins être vérifié sur la base des fiches de données spécifiques au site actualisées. Une telle vérification prend autant de temps que pour la construction d'une nouvelle station et peut nécessiter une nouvelle inspection et une modélisation du site. Si la charge des opérateurs est réduite, elle augmente en ce qui concerne l'autorité d'exécution. Il en va de même si seulement cinq LUS sont déclarés par site, le respect de la VLInst devant être assuré pour tous les LUS situés à proximité de la station. En raison du manque de transparence de la procédure, il faut s'attendre à de nombreuses demandes de renseignements de la part de la population.

La charge par site augmente également pour les opérateurs (vérification des mises à jour des fiches de données spécifiques au site, mesures, nouvelles fonctions logicielles, etc.), ce qui est toutefois en partie compensé par la réduction du nombre de nouvelles stations.

8.3.3.2 Calendrier

Un horizon temporel de deux à trois ans est à prévoir pour la révision de l'ORNI et l'adaptation des aides à l'exécution. L'option peut alors être mise en œuvre rapidement. Lors de la conception des solutions transitoires, il convient de veiller à éviter tout travail administratif excessif pour les autorités et les opérateurs. Les travaux nécessaires à l'adaptation de l'ORNI prendront environ deux ans. Le temps nécessaire à la construction de 7500 nouvelles stations et au réaménagement de toutes les installations existantes pour le déploiement complet de la 5G est estimé à entre 10 et 20 ans. Toutefois, avec un taux de construction inchangé par rapport à aujourd'hui, la construction d'un réseau 5G national efficace pourrait prendre beaucoup plus de temps.

L'option permet de mettre en œuvre la 5G avec une qualité limitée. Étant donné que l'évaluation sur la base de la moyenne dans le temps plutôt que sur celle du mode d'exploitation maximal équivaut à une augmentation de la valeur limite, le principe de précaution subit un certain assouplissement ayant pour conséquence une augmentation de l'exposition des personnes vivant à proximité des antennes.

8.4 4^e option Relèvement de la valeur limite de l'installation à 11,5 V/m par opérateur

8.4.1 Caractérisation

La VLInst est portée à 11,5 V/m.

La VLInst s'applique désormais uniquement aux antennes d'un seul opérateur et non plus, comme auparavant, à l'ensemble de la station.

8.4.2 Évaluation

8.4.2.1 Performances et coûts

Les capacités de puissance des stations émettrices existantes seront multipliées par 4 pour chaque opérateur, ce qui permettra une première extension à la 5G des sites existants et en même temps la poursuite de l'exploitation de la 3G et de la 4G. L'option permet l'introduction de la 5G sur les sites existants qui ne peuvent guère être réaménagés aujourd'hui, en particulier dans les agglomérations et les villes.

Les stations qui ne sont actuellement utilisées que par un seul opérateur sont désormais également ouvertes aux autres opérateurs dans la mesure du possible. La concurrence entre les trois opérateurs s'en trouvera accrue, ce qui permettra d'atteindre l'un des objectifs de la LTC.

Les expositions subies dans les LUS dépendent du nombre d'opérateurs partageant les stations.

Aujourd'hui, environ 22 % des sites sont déjà exploités conjointement. Pour estimer le nombre d'installations supplémentaires nécessaires, on suppose que 50 % des autres installations pourront être partagées tant dans les zones urbaines que dans les zones suburbaines et rurales ; cela représente 3500 sites. En outre, 3000 sites devront être réaménagés. En conséquence, il faut compter environ 900 millions de francs pour les investissements correspondants et environ 300 millions pour l'exploitation sur cinq ans. Si les stations 5G peuvent être équipées d'antennes adaptatives, il sera possible, dans un délai très court, de mettre en place un réseau 5G national efficace, conforme au standard IMT-2020 de l'UIT.

8.4.2.2 Exposition

L'augmentation de la puissance entraîne en certains endroits une augmentation de l'exposition d'un facteur 4. Si l'on suppose que la puissance est optimisée sur la base d'une VLInst de 11,5 V/m, des intensités de champ maximales comprises entre 11,5 et 16,3 V/m sont générées dans les LUS les plus chargés. L'exposition théorique maximale dans le LUS

le plus exposé est d'environ 20 V/m, ce qui ne se produit que si le LUS en question est le même pour les trois opérateurs. On peut supposer que les expositions réelles sont inférieures à ces valeurs, car il est rare que les installations des trois opérateurs émettent simultanément à la puissance maximale en direction du LUS le plus chargé.

L'exposition due à la liaison descendante est un peu moins prononcée qu'avec l'option 5 (cf. point 8.5.2.2).

L'option favorise en outre l'extension des réseaux existants avec des macrosites. L'exposition liée aux appareils terminaux reste donc plus ou moins la même, car le réseau d'antennes n'est que légèrement densifié.

8.4.3 Mise en œuvre

8.4.3.1 Adaptations nécessaires et responsabilités

Si la définition de l'installation est compatible avec les dispositions de la LPE (ce qui doit encore être examiné), la réglementation peut s'opérer dans le cadre de l'ORNI (VLInst et définition de l'installation, suppression de la notion de proximité spatiale). Elle relève donc de la compétence du Conseil fédéral.

La charge liée à la coordination entre les opérateurs est légèrement réduite, puisqu'il n'y a plus qu'un dossier relatif aux installations par opérateur.

La banque de données RNI de l'OFCOM doit être adaptée en tant qu'instrument de contrôle.

La charge des autorités d'exécution est nettement plus élevée qu'aujourd'hui, car un grand nombre de nouvelles stations et de nombreuses transformations doivent être autorisées et contrôlées.

8.4.3.2 Calendrier

Les travaux nécessaires à l'adaptation de l'ORNI demandent environ deux ans. Le temps nécessaire au réaménagement de 3000 stations et à la réalisation de l'extension complète à la 5G de 3500 installations existantes est estimé à entre 0 et 10 ans.

L'option permet l'extension sur des sites existants et ne nécessite pas de nouveaux sites pour l'instant. Afin d'atteindre la pleine capacité de la 5G selon la définition de l'UIT (IMT-2020), 3500 stations de téléphonie mobile existantes seront réaménagées par utilisation partagée et les installations existantes seront étendues à la 5G. Une mise hors service ultérieure de la 3G ou de la 4G permet la migration de leurs puissances vers le réseau 5G.

8.5 5^e option Relèvement et uniformisation de la valeur limite de l'installation à 20 V/m

8.5.1 Caractérisation

La VLInst est portée à 20 V/m.

L'extension du rayon d'opposition aura pour objectif qu'aucun nouveau permis de construire ne soit nécessaire pour les modifications ultérieures des stations, car le cercle des personnes ayant qualité pour faire opposition ne sera pas élargi.

8.5.2 Évaluation

8.5.2.1 Performances et coûts

Avec le relèvement de la valeur limite de l'installation à une valeur uniforme de 20 V/m, une réserve de puissance suffisante sera créée sur toutes les stations de téléphonie mobile existantes afin d'introduire la 5G à l'échelle nationale conformément aux spécifications de qualité de l'UIT (IMT-2020). Elle permettra d'atteindre l'un des objectifs de la LTC et de

concrétiser l'intention exprimée par les trois fournisseurs d'offrir à leurs clients des services 5G de qualité à l'échelle nationale (c.-à-d. à l'extérieur, dans les bâtiments et mobiles).

Les capacités de puissance des sites de téléphonie mobile existants et des nouveaux sites à créer sont multipliées par 16 (par rapport à une VLInst de 5 V/m). Les stations existantes peuvent ainsi être utilisées pour l'extension rapide d'un réseau 5G performant à l'échelle nationale. L'acquisition et la construction de nouveaux sites sont réduites au minimum, par exemple en réimplantant des sites abandonnés ou en comblant des lacunes de desserte qui existent déjà aujourd'hui.

Pour estimer les coûts, on suppose que tous les sites seront étendus à la 5G et équipés d'antennes adaptatives et qu'une petite cellule sera également utilisée dans environ la moitié des zones hotspot, soit les microcellules actuelles (environ 2000 densifications de petites cellules). Selon les estimations de la branche, il faut compter environ 1,0 milliard de francs pour les investissements correspondants et environ 300 millions pour l'exploitation sur cinq ans.

8.5.2.2 Exposition

Dans le pire des cas, l'exposition maximale (en tant qu'intensité de champ) due à la liaison descendante dans les LUS les plus chargés augmente d'un facteur 4 à 5. Grâce aux technologies modernes, la différence entre le champ maximal calculé et le champ moyen mesuré en un LUS donné pourrait être supérieure à ce qu'elle est aujourd'hui.

Comme le réseau est à peine densifié, les puissances des téléphones portables ne sont pas réduites.

8.5.3 Mise en œuvre

8.5.3.1 Adaptations nécessaires et responsabilités

Si le relèvement de la valeur limite est compatible avec le principe de précaution de la LPE (ce qui doit encore faire l'objet d'un examen juridique), il peut être opéré dans l'ORNI et est donc du ressort du Conseil fédéral.

Puisque seules les VLInst sont adaptées, la charge de travail initiale incomptant aux autorités est gérable. Une ORNI révisée pourrait entrer en vigueur au cours de l'année 2021. Une mise en œuvre rapide est alors possible, car l'exécution de l'ORNI et toutes les procédures établies restent inchangées.

Pour les autorités d'exécution, les charges de travail liées aux autorisations et aux contrôles augmentent fortement, car on peut supposer que toutes les stations existantes et celles à construire seront rapidement équipées en 5G et qu'une procédure d'octroi de permis de construire devra donc être menée dans chaque cas dans un court laps de temps. La charge liée au traitement des oppositions et des recours ainsi que les activités d'information et de conseil sont également susceptibles d'augmenter en raison de la résistance croissante des riverains.

8.5.3.2 Calendrier

Avec cette option, la croissance actuelle des données et celle prévue pour les années à venir peuvent être largement gérées avec les stations de téléphonie mobile existantes. De ce fait, la construction de milliers de nouvelles installations et les retards associés à la mise en œuvre de la 5G peuvent être évités. Cette option jette les bases d'un développement des communications mobiles conforme aux recommandations de l'UIT (IMT-2020) et tient pleinement compte de la stratégie « Suisse numérique ».

Les travaux nécessaires à l'adaptation de l'ORNI demandent environ deux ans. Avec cette option, seules quelques nouvelles stations seront nécessaires (densification concernant 50 % des microcellules), et presque toutes les installations existantes seront réaménagées (y c. les augmentations de capacité). Ainsi, le temps nécessaire pour une extension complète à la 5G est estimé à entre 0 et 10 ans.

9 Approches possibles dans l'optique des évolutions futures

Les options décrites au chapitre 8 montrent comment les réseaux de téléphonie mobile pourraient évoluer ces prochaines années dans le cadre des conditions actuelles ou en adaptant l'ORNI afin d'offrir rapidement une couverture 5G à l'échelle de tout le territoire suisse. Toutefois, la téléphonie mobile progresse sans relâche, le volume de données transmises ne cesse d'augmenter et les technologies avancent, elles aussi. Dans le domaine de la recherche, certains instituts se demandent aujourd'hui déjà à quoi pourra bien ressembler la technologie de communication mobile de sixième génération. Les premières publications restent cependant très générales et se contentent d'aborder les possibilités offertes pour le développement des composants technologiques.

En ce qui concerne les évolutions futures, se pose également la question de la rapidité avec laquelle il sera de nouveau nécessaire d'agir une fois que les solutions décrites dans les options auront été mises en place. Selon le point 4.1, la quantité de données transmises par réseau mobile devrait continuer à doubler tous les 12 à 18 mois. On peut donc considérer que les gains de capacité, rendus possibles par l'implémentation de nouvelles macrocellules ou par un éventuel relèvement des valeurs limites de l'installation, seront épuisés d'ici quelques années seulement.

Afin que les opérateurs et le législateur ne se posent pas dans quelques années déjà les mêmes questions qu'aujourd'hui, l'Union des villes suisses (UVS) et l'association Médecins en faveur de l'environnement (MfE) ont soumis au groupe de travail des propositions concernant le développement à moyen terme de la téléphonie mobile. Or il n'est pas nécessaire d'attendre avant de mettre en œuvre ces mesures. Bien au contraire : les décisions stratégiques correspondantes doivent être prises dans les meilleurs délais. Ces propositions visent principalement la promotion des petites cellules, ainsi que la séparation entre la couverture à l'intérieur des bâtiments et la couverture à l'extérieur sur la base d'une disponibilité suffisante des réseaux de fibre optique.

Il est aujourd'hui difficile d'évaluer si et dans quelle mesure ces architectures de réseau seront compatibles avec l'évolution des standards internationaux de la téléphonie mobile.

9.1 Promotion des petites cellules dans les réseaux hybrides grâce à une coopération renforcée entre les villes/communes et les opérateurs de téléphonie mobile

9.1.1 Description

Dans les zones où le trafic de données est élevé, les réseaux font déjà l'objet d'une densification par l'ajout d'antennes sur de nouveaux sites afin d'augmenter les capacités. Les points 5.7 et 5.8 ont montré que cette solution permet aussi de diminuer l'exposition globale des utilisateurs. Le principal objectif de l'approche proposée par l'UVS est d'étayer ce développement sans devoir adapter les dispositions existantes de l'ORNI ni les instruments d'exécution.

La poursuite du développement des réseaux mobiles et l'introduction de la 5G doivent se faire dans le cadre d'une coopération plus étroite entre les autorités communales et les opérateurs de téléphonie mobile sous la forme d'un partenariat public-privé (PPP). Cette démarche commune a pour objectif de créer les préalables nécessaires à l'implémentation de la 5G en privilégiant (à la différence du réseau hybride utilisé aujourd'hui) les petites cellules comme pilier du réseau mobile. En outre, les installations de téléphonie mobile à l'intérieur des bâtiments de faible puissance ou pouvant être éteintes la nuit par exemple assurent la couverture dans les bâtiments pour les applications quasi-stationnaires et haut débit (vidéo en streaming, applications industrielles, IoT, etc.). La stratégie de téléphonie mobile est ainsi censée permettre la mise en place d'une fourniture destinée aux communes, aux entreprises et aux consommateurs qui répond à la demande sur les plans tant de la qualité que de la quantité tout en respectant les valeurs limites actuelles.

Une architecture et une topologie de réseau adaptées à des conditions urbaines peuvent être structurées comme suit :

- Les macrocellules existantes sont employées, en priorité, pour la couverture de base, en particulier pour les services de sécurité, les appareils terminaux qui se déplacent rapidement et comme solution de repli en cas de perturbations. Si la qualité de la couverture l'exige et si cette dernière ne peut être assurée par de petites cellules pour des raisons techniques ou d'investissements économiques disproportionnés, l'approche doit permettre de créer de nouvelles macroinstallations.
- Les petites cellules font partie intégrante de la stratégie de téléphonie mobile lorsque la charge supportée par les macrocellules est trop forte ou que la couverture est insuffisante pour d'autres motifs, et aussi lorsque la quantité de données dans l'espace public est élevée.
- Un accent plus prononcé est mis sur la séparation entre la couverture à l'intérieur des bâtiments et la couverture à l'extérieur. À l'intérieur des bâtiments, la puissance d'émission requise est plus faible et peut être éteinte par précaution individuelle afin de réduire l'exposition personnelle.
- Dans le contexte d'une solution PPP, l'objectif est une utilisation conjointe des petites cellules par tous les opérateurs, en particulier les petites cellules à maillage fin, et ce pour des raisons de coût et d'égalité de traitement de tous les fournisseurs.

Les villes et les communes qui sont prêtes à développer une stratégie de téléphonie mobile et à en soutenir l'application en collaborant avec le secteur privé dans le cadre d'un PPP profitent, grâce à cette option, d'un instrument de planification et de mise en œuvre.

9.1.2 Évaluation

Les performances des réseaux hybrides, qui mettent davantage l'accent sur les petites cellules, sont théoriquement faciles à augmenter : une petite cellule est subdivisée lorsqu'elle atteint sa limite de performance. Le respect des valeurs limites de l'installation (VLInst) actuelles conditionne toutefois le développement du nombre de sites équipés de petites cellules.

Au niveau international, la 5G est mise en œuvre sur l'infrastructure 4G existante. En Suisse, la capacité de cette dernière est déjà quasiment épuisée, en particulier dans les zones urbaines et suburbaines. Un réseau pur de petites cellules sans nouveaux macrosites ne permet pas d'exclure des pertes qualitatives ponctuelles dans la couverture (de base) ; par conséquent, le respect des exigences du standard 5G IMT-2020 de l'UIT ne peut pas être garanti à certains endroits. Il est donc probable que cette stratégie de téléphonie mobile requiert des macrocellules supplémentaires concernant lesquelles l'autorité communale devra également apporter sa contribution dans le contexte du PPP (avec ses propres bâtiments).

Dans les zones d'habitation, une couverture à l'intérieur des bâtiments gérée par les résidents eux-mêmes pourrait ne pas remplir entièrement les exigences imposées à la 5G par les objectifs IMT-2020 de l'UIT. Les applications futures de l'IdO et d'autres prestations spécifiques pourraient également être concernées. À terme, les responsables politiques doivent se demander dans quelle mesure ces prestations à l'intérieur des bâtiments doivent impérativement être assurées par les opérateurs au moyen d'installations extérieures, ou s'il ne serait pas plus approprié de faire appel à des solutions en fonction des besoins.

Le nombre de sites de téléphonie mobile supplémentaires requis dépend de la stratégie choisie et des conditions-cadres en vigueur dans la ville ou la commune concernée. Les municipalités disposant déjà d'un réseau à haut débit étendu, d'une couverture intelligente dans l'espace public et de leurs propres bâtiments sont ici privilégiées. Ces prérequis permettent de mettre en place et d'exploiter à faible coût les microcellules, qui bénéficient d'une procédure d'autorisation simplifiée, la ville ou la commune devant toutefois y apporter sa contribution (p. ex. en aidant à trouver des emplacements, par des conditions locatives avantageuses, une électricité moins chère ou l'accès à un réseau de fibre optique). Dans les zones urbaines, il convient de prévoir l'implémentation d'un grand nombre de nouvelles microcellules, ce qui engendre des économies d'échelle et, partant, réduit les coûts des installations individuelles.

Dans le cadre d'un PPP, la planification peut démarrer immédiatement sur la base d'une stratégie développée en commun. La condition préalable à un PPP est que la ville (ou la commune) ainsi que les fournisseurs poursuivent l'objectif d'une couverture 5G de bonne qualité. Ces différentes parties prenantes seront chargées de définir, ensemble, ce qu'est « une couverture de bonne qualité » et pourront ne pas exiger une couverture intérieure par des stations de base extérieure.

La stratégie présentée par l'UVS permet d'adapter continuellement l'architecture du réseau aux besoins dans l'optique d'un développement à long terme.

9.1.3 Exposition

Les réseaux de petites cellules entraînent, d'une part, une répartition régulière de l'exposition au rayonnement et ainsi, en surface, une légère augmentation des immissions moyennes provenant de la liaison descendante. En raison de la forte hausse de la quantité d'antennes, de plus en plus de LUS se trouveraient à proximité d'installations de téléphonie mobile. En contrepartie, cela éviterait ou diminuerait les pics d'exposition à l'extérieur, tels qu'on les trouve dans les environs élargis des macrocellules fortement sollicitées.

L'objectif de séparer la couverture intérieure et la couverture extérieure implique une légère augmentation des expositions maximales dues à la liaison descendante et une forte baisse des expositions dues à la liaison montante dès lors qu'une couverture intérieure optimale peut être garantie. En outre, la population jouit d'une plus grande influence sur les immissions qu'elle produit elle-même grâce à la possibilité d'éteindre ses propres installations intérieures. De telles déconnexions peuvent toutefois dégrader la couverture 5G ; les services de secours ou les fabricants d'appareils ménagers, par exemple, ne peuvent plus être sûrs de disposer d'une réception à l'intérieur des bâtiments.

Comme le montre le point 5.8, l'exposition globale des utilisateurs est réduite par un réseau de téléphonie mobile qui diminue l'atténuation du signal par l'utilisation de cellules plus petites et une couverture intérieure additionnelle. Grâce à une distance courte entre le récepteur final et l'antenne, l'exposition des utilisateurs est divisée par un facteur de 2 à 10 dans l'espace extérieur et d'un facteur de 10 à 600 dans le cadre d'une couverture intérieure supplémentaire. Pour les non-utilisateurs, les immissions peuvent être multipliées par un facteur allant de 1,6 (en espace extérieur) à 10 (en espace intérieur avec couverture). Dans les espaces intérieurs sans couverture, l'exposition des non-utilisateurs n'augmentera pas ; les téléphones mobiles des utilisateurs devront, en revanche, émettre à puissance maximale.

9.1.4 Mise en œuvre

Une base juridique devra éventuellement être créée, par l'intermédiaire de la LTC, afin de contraindre les opérateurs de téléphonie mobile à s'impliquer s'ils ne décident pas de leur plein gré de participer à un PPP. Dans ce contexte, il conviendrait aussi de régler la coopération entrant dans le cadre de la stratégie de téléphonie mobile proposée et destinée à la mise en place et à l'exploitation d'un réseau commun de petites cellules. Il serait ainsi possible d'opter pour une solution de branche basée sur le volontariat, en sachant cependant qu'il faudra, là aussi, en vérifier la conformité avec la LTC et les concessions (concurrence au niveau des infrastructures).

À l'échelle des cantons, la législation en matière de construction devra être adaptée ; dans les villes et les communes impliquées, un mandat législatif sera nécessaire pour mettre en œuvre l'option dans l'optique d'un PPP. Les villes et les communes devront s'investir davantage dès lors qu'elles participeront activement à la planification du réseau et à la recherche d'emplacements pour les petites cellules. Cette charge supplémentaire résulterait probablement aussi d'une intensification des activités d'information et de conseil à assurer par les communes et les villes elles-mêmes.

L'effort initial requis par l'élaboration de la stratégie est considérable pour toutes les parties concernées (déclaration d'intention, accord, rédaction, travaux politiques). Un développement standardisé du réseau serait plus difficile, car les opérateurs devraient trouver un accord individuel avec chaque ville ou commune, ce qui pourrait retarder le développement. L'ampleur du travail nécessaire serait par la suite moindre du fait de la baisse des opérations de prospection ainsi

que des procédures d'autorisation et de recours et de la hausse de la sécurité de planification ; cela vaudra toutefois uniquement si les villes et communes apportent leur contribution à une telle stratégie.

Sur la base d'une stratégie de téléphonie mobile développée et défendue conjointement par le secteur public et les opérateurs, l'expansion du réseau de petites cellules pourra se faire progressivement, en fonction de la demande. Parallèlement, l'architecture du réseau pourra être adaptée aux besoins au fur et à mesure, dans l'intérêt d'un développement à long terme.

9.2 Séparation entre la couverture à l'intérieur des bâtiments et la couverture à l'extérieur

9.2.1 Description

Les points 5.7 et 5.8 ont montré que l'exposition due à la téléphonie mobile peut le plus possible être réduite lorsque les signaux sont acheminés jusqu'au plus près du client final par des réseaux de fibre optique et que la fin du trajet est assurée par une voie aérienne aussi courte que possible et avec le moins d'obstacles possible. L'approche présentée par MfE prévoit ainsi une séparation rigoureuse entre la couverture à l'intérieur des bâtiments et la couverture à l'extérieur afin de réduire l'exposition de la population par rapport à l'exposition actuelle. Un moyen réglementaire permettant de favoriser cet objectif pourrait consister à réduire la VLInst à 0,6 V/m, en l'appliquant également aux petites cellules (ERP inférieure à 6 W) et aux installations qui n'émettent que temporairement.

Selon cette approche, les stations de base extérieures ne sauraient avoir pour but de couvrir l'intérieur des bâtiments et des véhicules. Les bâtiments doivent, en principe, être connectés par l'intermédiaire du réseau fixe et, en option, par des microstations supplémentaires. Les installations de radiocommunication à l'intérieur des bâtiments ne doivent pas être conçues pour couvrir l'espace extérieur. La couverture à l'intérieur des bâtiments doit émettre peu de rayonnement. Les propriétaires et locataires décident, en toute autonomie, si une couverture mobile est nécessaire ou souhaitée dans leurs espaces intérieurs. Il faudrait alors, le cas échéant, utiliser des infrastructures à faible rayonnement et d'une puissance de transmission aussi faible que possible afin de ne pas exposer trop fortement les espaces voisins.

9.2.2 Évaluation

La proposition de séparer la couverture à l'intérieur des bâtiments et la couverture à l'extérieur impliquerait une réorganisation complète des systèmes actuels de téléphonie mobile. En effet, pour tous les émetteurs qui génèrent aujourd'hui une puissance de champ proche de la valeur limite dans les LUS, il serait alors nécessaire de diviser cette puissance par 100, d'augmenter la hauteur des antennes ou de modifier leur angle de rayonnement. La qualité de réception du réseau de téléphonie mobile actuel s'en trouverait considérablement réduite, et il ne serait pas possible d'améliorer la qualité de la couverture comme prévu par l'IMT-2020 de l'UIT.

9.2.3 Exposition

La puissance d'émission d'une cellule conçue uniquement pour une couverture extérieure peut être réduite, car les distances et les obstacles atténuants à surmonter sont moindres dans ce cas. Il est de la sorte possible de diminuer, à l'extérieur, l'exposition due à la liaison descendante ainsi que l'exposition des personnes vivant près d'une antenne.

Dans les bâtiments, l'exposition due à liaison descendante peut augmenter par rapport au niveau actuel en raison d'un plus grand nombre de petites antennes situées à proximité des personnes. Une gestion adaptée aux besoins (comparable à celle des stations de base pour la téléphonie sans fil) et une optimisation de l'emplacement des stations de base permettent, aussi à l'intérieur des bâtiments, de maintenir à un niveau bas l'exposition due à la liaison descendante.

Lors de l'utilisation d'un téléphone mobile à l'extérieur, l'exposition due à la liaison montante diminue lorsque la liaison radio entre téléphone et station de base est plus courte et qu'il y a moins d'obstacles atténuants à traverser. Dans les bâtiments pourvus d'une couverture intérieure, la liaison montante moyenne est également inférieure au niveau actuel,

et les cas de performances maximales dues à une mauvaise réception sont plus rares. Dans les espaces intérieurs non équipés, il sera pratiquement impossible d'utiliser un téléphone mobile. Si le signal est de mauvaise qualité à l'intérieur et à l'extérieur, le téléphone mobile transmettra à puissance maximale, ce qui augmentera l'exposition de l'utilisateur.

Le secteur de la téléphonie mobile part du principe qu'une forte baisse de la qualité de couverture impliquera une diminution des communications mobiles et que de nouvelles applications et nouveaux services ne seront pas du tout proposés en Suisse. Cette situation entraînerait une réduction supplémentaire de l'exposition.

9.2.4 Mise en œuvre

En raison des différentes répercussions qu'elle aurait, notamment sur l'article énonçant le but de la LTC, cette proposition ne pourrait pas être mise en œuvre sans modification législative. En outre, des adaptations seront nécessaires au niveau d'accords bilatéraux concernant la conformité des produits, les entraves commerciales (exigences supplémentaires pour les émetteurs WLAN, les émetteurs de téléphonie mobile et les véhicules) ainsi que les concessions de téléphonie mobile. Cette conversion prendrait plusieurs années, car elle requerrait probablement l'implication du Parlement.

L'abaissement de la VLInst à 0,6 V/m ainsi que l'extension de son application aux petites installations et aux installations à transmission temporaire exigent de modifier l'ORNI, ce qui est du ressort du Conseil fédéral.

La mise en œuvre augmenterait ainsi considérablement l'implication des autorités publiques en raison du grand nombre de nouvelles installations extérieures à contrôler. Des questions restent en suspens en ce qui concerne les installations à l'intérieur des bâtiments, par exemple dans les logements en location (entre autres : mise en place d'installations contre la volonté des locataires, prise en charge des coûts, vérification et contrôle, coûts des entreprises chargées de la réalisation de mesures et adéquation des équipements de mesure actuels).

10 Mesures d'accompagnement

En plus des options ayant des effets directs sur les réseaux et sur l'exposition de la population au RNI, le groupe de travail a élaboré des mesures d'accompagnement n'ayant pas d'effets directs sur ces deux plans. De manière générale, ces mesures peuvent être combinées avec toutes les options. Leur évaluation repose donc sur des critères différents de ceux utilisés pour ces dernières. Le groupe de travail a déterminé les lignes directrices et les mesures suivantes :

- simplification et harmonisation de l'exécution (cf. 10.1),
- monitoring de l'exposition et des effets sur la santé (cf. 10.2),
- information et sensibilisation de la population (cf. 10.3),
- encouragement de la recherche concernant les effets potentiels de la téléphonie mobile sur la santé (cf. 10.4),
- création d'un service de consultation de médecine environnementale sur le RNI (cf. 10.5),
- création de la plateforme d'échange « Téléphonie mobile du futur » (cf. 10.6).

10.1 Simplification et harmonisation de l'exécution

10.1.1 Description

Aujourd'hui, l'exécution repose sur des recommandations d'exécution, des recommandations sur les mesures et d'autres documents, qui datent tous de plusieurs années. Ces bases doivent être actualisées afin de permettre des simplifications, d'accélérer les processus et d'harmoniser l'exécution. Les moyens d'exécution doivent tenir compte des opportunités offertes par la numérisation. Par ailleurs, il convient de réduire la charge générée par les procédures d'autorisation pour les opérateurs de téléphonie mobile et les autorités sans que cela n'impacte la qualité du contenu ni la sécurité juridique des procédures. Enfin, les incohérences qui sont apparues dans le cadre de l'exécution doivent être éliminées.

Un groupe de travail mis sur pied en janvier 2019 par la DTAP a étudié les possibilités d'amélioration de l'efficacité de l'exécution et de simplification des procédures d'autorisation. Il s'agit avant tout de réduire la charge de travail dans différents domaines (établissement et examen des fiches de données spécifiques au site, mesures de réception, traitement des oppositions, contrôles de fonctionnement) et de procéder à des simplifications techniques.

L'évaluation a montré que la mise en œuvre des mesures suivantes serait nécessaire :

- améliorer la reproductibilité et la comparabilité du calcul et de la mesure du rayonnement et proposer un calcul / un moyen de prévision plus réaliste de l'exposition au rayonnement,
- numériser la documentation et l'échange de données dans le cadre des procédures d'autorisation pour les antennes de téléphonie mobile (notamment fichiers électroniques, documentation photographique, coordonnées, bâtiments modélisés en 3D et diagrammes d'antenne valables),
- automatiser la synchronisation et développer la base de données RNI : celle-ci doit davantage être adaptée aux besoins des autorités d'exécution en matière de simplicité et d'automatisation des contrôles des installations de téléphonie mobile ; elle devrait en outre être étendue à la possibilité d'implanter la technologie 5G et voir sa performance ainsi que sa stabilité améliorées,
- ne pas prendre en compte les parcelles vides dans le cadre des autorisations,
- examiner les modifications mineures figurant dans la recommandation de la DTAP concernant la téléphonie mobile,
- réduire la charge de travail générée par l'établissement et l'examen des fiches de données spécifiques au site tout en garantissant la même transparence qu'aujourd'hui,

-
- examiner à quel point la charge de travail associée aux mesures de réception et aux contrôles de fonctionnement peut être réduite.

Par ailleurs, l'OFEV élaborera, d'ici à fin 2019, un complément à l'aide à l'exécution en vigueur relative aux installations de téléphonie mobile. Ce complément montrera comment les antennes adaptatives peuvent être évaluées dans le cadre des procédures d'autorisation. Le METAS actualisera pour sa part, d'ici à fin 2019, ses recommandations de mesure pour y intégrer la 5G. D'ici là, les antennes adaptatives sont évaluées de la même manière que les antennes statiques existantes. Enfin, l'OFCOM a repoussé de plusieurs années les développements nécessaires de la base de données RNI en raison d'une redéfinition, à l'interne, des priorités informatiques.

10.1.2 Coûts et financement

Il est difficile de quantifier en amont le coût des mesures. Celui-ci doit avant tout être perçu comme un investissement permettant d'améliorer et de simplifier l'exécution. Il sera supporté en partie par la Confédération et en partie par les cantons en tant qu'autorités d'exécution. Il faut garder à l'esprit que les coûts associés à la recherche de solutions permettront ensuite de réaliser des économies lors de l'exécution.

10.1.3 Utilité attendue

Le fait de faciliter l'échange électronique des données permettra de réduire la charge des opérateurs de téléphonie mobile et des autorités. Par ailleurs, les améliorations apportées aux aides à l'exécution offriront de la clarté, ce qui aura, là encore, des répercussions sur la charge de travail et les coûts. En outre, les mesures permettront de gagner en flexibilité et en rapidité afin que les développements techniques puissent être implémentés plus rapidement dans les réseaux de téléphonie mobile. Dans la mesure où la législation en matière de protection des données le permet, les données utilisées dans le cadre de l'exécution pourront également être exploitées à des fins d'information, et ne devront pas être récoltées une nouvelle fois.

10.1.4 Mise en œuvre

10.1.4.1 Répartition des compétences

La mise en œuvre des actions relatives aux fiches de données spécifiques au site, aux mesures de réception et au traitement des oppositions doit s'appuyer sur l'ORNI, l'aide à l'exécution correspondante et la base de données RNI (OFEV et OFCOM). La Confédération devra actualiser les aides à l'exécution.

Il revient aux cantons de simplifier l'exécution du droit de la construction (recommandation de la DTAP concernant la téléphonie mobile). La DTAP a d'ores et déjà mis sur pied un groupe de travail à cet effet.

10.1.4.2 Charge incombant aux autorités

La modification des bases et des procédures actuelles entraînera dans un premier temps une charge supplémentaire. Par la suite, le surplus de travail baissera, notamment celui associé à l'exécution par les cantons.

10.1.4.3 Calendrier

L'aide à l'exécution relative à l'ORNI sera publiée fin 2019, tout comme l'actualisation des recommandations de mesure. Les autres travaux liés aux actions précitées débuteront en 2020. La DTAP examine actuellement les simplifications et l'harmonisation apportées à l'exécution dans le cadre d'un groupe de travail.

10.1.4.4 Adaptations légales

Il n'existe pour l'heure pas de vue d'ensemble des modifications légales qui devront être apportées par les cantons ou la Confédération sur la base des examens réalisés. De manière générale, le droit fédéral en vigueur peut faire l'objet de clarifications, de simplifications et d'harmonisations importantes.

10.1.5 Conclusion

L'exécution doit être simplifiée et harmonisée ; les travaux ont en partie déjà commencé et peuvent être réalisés dans le cadre du droit fédéral en vigueur.

10.2 Monitoring de l'exposition

10.2.1 Description

Le postulat Gilli (09.3488) « Surveillance des champs électromagnétiques »¹⁰³ demandait au Conseil fédéral d'examiner s'il y a lieu de planifier et de mettre en œuvre un système de surveillance de la situation d'exposition de la population au RNI et de soumettre un projet prévoyant les mesures nécessaires. Le postulat a été adopté par le Conseil national en 2011.

L'OFEV a commandé plusieurs études afin de déterminer la faisabilité d'un monitoring du RNI et d'élaborer un concept. Ces travaux de fond ont montré que la mise en place d'une surveillance nationale du RNI fournissant des informations représentatives sur l'exposition de la population serait certes complexe, mais possible.

Ainsi, le Conseil fédéral a adopté, en décembre 2015, un concept de surveillance des champs électromagnétiques¹⁰⁴. Ce concept¹⁰⁵ s'articule autour de quatre modules :

- Mesures représentatives des immissions résultant des champs basse fréquence (des installations électriques) et du rayonnement haute fréquence (émis par les applications de téléphonie mobile et d'autres applications de radio-communication) dans des contextes définis (y c. dans les logements) à l'aide d'appareils de mesure portatifs (exposimètres). Les appareils de mesure sont largement disponibles et la méthodologie est prête à être mise en pratique. Le rayonnement haute fréquence et les champs magnétiques basse fréquence peuvent être recensés au cours d'un même passage. La première étape consiste à définir les contextes devant faire l'objet d'un recensement. Les contextes suivants devraient tout au moins être inclus :
 - espace extérieur dans les zones d'habitation, en tenant compte de la typologie des communes établie par l'Office fédéral du développement territorial, en caractérisant les quartiers d'habitation en fonction de leur distance par rapport au centre-ville et en les distinguant des zones industrielles ;
 - espace intérieur des logements, différencié selon les mêmes critères que les quartiers d'habitation ;
 - espace réservé aux passagers dans les transports publics.
- Calcul des immissions causées par les installations d'infrastructure situées dans l'espace extérieur (lignes à haute tension, installations de téléphonie mobile, stations émettrices pour la radiodiffusion, etc.) : Les calculs des immissions peuvent être transposés relativement rapidement au rayonnement des installations de téléphonie mobile et de radiodiffusion, étant donné que l'on dispose déjà d'un cadastre complet et actualisé de ces installations. Il est

souhaitable que la modélisation couvre tout au moins les zones d'habitation sur l'ensemble du territoire et recense les immissions moyennes dans l'espace extérieur, notamment au niveau des façades des bâtiments dans lesquels des personnes séjournent pendant une période prolongée.

- Regroupement des résultats des mesures stationnaires des immissions réalisées par les cantons et les communes sur une plateforme centrale : certains cantons et communes réalisent déjà des mesures stationnaires. Celles-ci sont toutefois insuffisantes pour obtenir des informations représentatives concernant l'exposition de l'ensemble de la population, mais fournissent des compléments d'information précieux concernant les fluctuations des immissions au cours d'une journée et d'une semaine, et peuvent être utilisées dans le cadre de la validation des calculs d'immissions.
- Études de cas relatives à l'exposition due à l'utilisation d'appareils émettant près du corps : il n'est pas possible de procéder à un relevé représentatif de l'exposition des utilisateurs à des appareils émettant près du corps en raison de la multiplicité des appareils et des conditions d'utilisation. Cependant, si l'on veut obtenir une vue d'ensemble de l'exposition totale, on ne peut pas faire abstraction de la part de rayonnement due à ces appareils. Des études de cas peuvent être réalisées en lieu et place des recensements représentatifs et des modélisations afin de déterminer le rayonnement agissant sur le corps lors de certaines utilisations typiques, l'accent devant être mis en priorité sur les terminaux de communication mobile.

La révision de l'ORNI du 17 avril 2019 confie expressément à l'OFEV, en tant qu'organe fédéral compétent en matière d'environnement, la tâche de mettre sur pied un tel monitoring du RNI. En outre, il convient, conformément à la LPE, de consigner et d'évaluer en permanence les résultats de la recherche scientifique et les enseignements tirés de l'expérience en matière d'effets du rayonnement sur la santé.

10.2.2 Coûts et financement

Les coûts du monitoring sont estimés au total à 1 milliard de francs, répartis sur les trois premières années, auxquels il faut ajouter des frais annuels récurrents d'environ 500 000 francs. Ces coûts sont toutefois déjà financés.

10.2.3 Utilité attendue

Les données et informations qui seront obtenues contribueront de manière décisive à dépassionner le débat sur le sujet. En outre, un tel monitoring permettra de mettre en évidence les éventuels changements de situation lors de l'introduction de nouvelles technologies. Il est indispensable de disposer de données fiables pour pouvoir gérer les risques et mener d'autres travaux de recherche sur les éventuels effets sanitaires découlant de l'exposition.

10.2.4 Mise en œuvre

La mise en œuvre de cette mesure est déjà en cours. En fonction de la configuration, des appels d'offres d'envergure devront être lancés, lesquels nécessiteront du temps.

10.2.4.1 Répartition des compétences

En vertu de l'art. 19 b ORNI, cette tâche incombe à l'OFEV.

10.2.4.2 Charge incomptant aux autorités

Concernant la charge financière, se reporter au point 10.2.2.

10.2.4.3 Calendrier

Les premiers résultats tangibles sont attendus au plus tôt en 2022.

10.2.4.4 Adaptations légales

Les bases légales sont disponibles.

10.2.5 Conclusion

Le monitoring de l'exposition et des éventuels effets du RNI sur la santé revêt une grande importance pour dépassionner le débat. La tâche a déjà été attribuée à l'OFEV et est en cours d'exécution. Le financement de cette mesure est garanti et les premiers résultats sont attendus au plus tôt en 2022.

10.3 Information et sensibilisation de la population

10.3.1 Description

La présente partie comprend plusieurs mesures destinées à améliorer l'information de la population. L'objectif est de fournir à la population une information actualisée, transparente et objective sur les antennes de téléphonie mobile et leurs paramètres d'utilisation et, ce faisant, de décharger les autorités d'exécution et les opérateurs de téléphonie mobile de leurs travaux de renseignement personnalisé. Il y a lieu de veiller à la garantie du secret d'affaires des opérateurs dans le cadre de la mise à disposition des informations. Il convient de se pencher en particulier sur les points suivants.

- Adaptations de la base de données RNI de l'OFCOM : la mesure a pour objectif de faire le tri dans la base de données et de proposer une représentation plus simple et plus pertinente de la carte synoptique de l'OFCOM. Il convient ici d'étudier l'opportunité de créer un cadastre en ligne qui répertorie les emplacements et certains paramètres d'émission de l'ensemble des antennes et qui montre les installations de téléphonie mobile en service et celles pour lesquelles une procédure d'autorisation est en cours (en respectant le secret d'affaires des opérateurs et la protection des données des propriétaires des terrains et des locataires des emplacements). Le cadastre de la ville de Bruxelles pourrait être utilisé comme modèle¹⁰⁶. Les résultats des mesures de réception – peut-être même les paramètres de fonctionnement tels que la direction d'émission, la puissance d'émission ou encore les fréquences – pourraient eux aussi être consignés dans le cadastre.
- Représentation des immissions modélisées du champ électrique des installations émettrices dans un cadastre en ligne accessible au public (le niveau de détail ne doit pas être trop poussé de sorte à conserver une précision de calcul réaliste).
- Actualisation du document « Téléphonie mobile : guide à l'intention des communes et des villes » : ce document est le fruit d'une collaboration exemplaire entre la Confédération, la DTAP, l'Union des villes suisses (UVS) et l'Association des communes suisses. Il a largement contribué à la compréhension de la thématique et, ce faisant, a représenté un soutien précieux pour les communes. Ces dernières recourent beaucoup à ce guide dans le cadre de leur communication avec des tiers.
- Élaboration de mesures d'information et de sensibilisation adaptées au groupe cible, par exemple : organisation, par la Confédération, d'une campagne d'information sur l'utilisation responsable de la téléphonie mobile ou sur l'importance de la téléphonie mobile pour l'économie et la société. Il serait pertinent que cette thématique soit

aussi abordée dans les écoles. Les thèmes de l'éducation aux médias et de la sécurité des données devraient en outre faire partie intégrante de la campagne.

- Publication de brochures.

10.3.2 Coûts et financement

Les coûts associés à la base de données RNI de l'OFCOM et à la création d'un nouveau cadastre en ligne n'ont pas encore été estimés. Toutefois, étant donné qu'il s'agira, au moins en partie, de travaux sur une base de données, ils devraient être élevés. Le financement incomberait en premier lieu à la Confédération ; aucun mandat légal correspondant n'a toutefois été confié à l'OFCOM pour l'heure.

L'actualisation du document « Téléphonie mobile : guide à l'intention des communes et des villes » serait pour sa part co-financée par l'ensemble des acteurs actuels, ce qui se traduirait par des frais supportables pour la Confédération.

Les coûts associés aux mesures d'information et de sensibilisation effectives adaptées au groupe cible et à la campagne d'information doivent encore être estimés. Selon la configuration (diffusion de l'information auprès de la population, durée), l'expérience montre qu'ils pourraient être élevés. Ils devraient toutefois être financés par les recettes issues de l'attribution des licences de téléphonie mobile.

10.3.3 Utilité attendue

Une information transparente sur les installations de téléphonie mobile permettrait d'accroître l'acceptation de la population à cet égard (ainsi que la crédibilité des autorités). Par ailleurs, cela diminuerait la charge de travail des autorités et des opérateurs, qui n'auraient plus à rassembler de la documentation pour répondre à différentes demandes. Toutefois, une transparence accrue se révèle pertinente à la condition que les informations qui peuvent être obtenues à partir des données indiquées soient clairement expliquées au public (p. ex. liens entre distance, puissance d'émission et immissions).

L'échange de données entre un cadastre en ligne et les procédures d'autorisation cantonales simplifierait les tâches d'information et de sensibilisation, puisque toutes les données seraient déjà disponibles sous forme électronique. Il convient toutefois aussi de garder à l'esprit que les concurrents (les opérateurs de téléphonie mobile) pourraient utiliser le cadastre pour obtenir des renseignements sur la planification du réseau, la qualité de la couverture ou les stratégies.

L'actualisation du document « Téléphonie mobile : guide à l'intention des communes et des villes » fournira aux communes un instrument permettant de répondre rapidement aux demandes.

Les mesures d'information et de sensibilisation liées à la téléphonie mobile et à la santé contribuent à combler des lacunes, ouvrent la voie à la prise de décisions basée sur des faits et permettent à la population d'agir de manière responsable en tout état de cause.

10.3.4 Mise en œuvre

Outre la faisabilité d'un cadastre en ligne, il convient d'étudier la manière dont les informations pourraient être mises à disposition (p. ex. grâce à une campagne d'information).

L'actualisation du document « Téléphonie mobile : guide à l'intention des communes et des villes » a déjà été demandée par la DTAP. Pour autant que le financement soit assuré, le projet sera lancé une fois que les travaux du groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement et les éventuels travaux consécutifs seront achevés, c'est-à-dire au plus tôt en 2020.

10.3.4.1 Répartition des compétences

Globalement, l'actualisation de la base de données RNI de l'OFCOM, la création d'un cadastre en ligne et le financement d'une campagne d'information incombe à la Confédération, éventuellement avec la participation des cantons. En plus des dispositions de la LTC et de la LPE, la nouvelle loi fédérale sur la protection contre les dangers liés au rayonnement non ionisant et au son (LRNIS) constitue le cadre juridique permettant à l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) d'informer le public des effets du rayonnement des appareils mobiles (smartphones, tablettes ou périphériques Bluetooth). Le document « Téléphonie mobile : guide à l'intention des communes et des villes » sera actualisé conjointement par les communes, les cantons et la Confédération, sous la houlette de la DTAP.

10.3.4.2 Charge incombant aux autorités

À l'heure actuelle, il est impossible d'estimer le temps ou les moyens financiers qui seront nécessaires pour actualiser la base de données RNI de l'OFCOM, pour créer le cadastre en ligne ou pour organiser la campagne d'information.

L'adaptation du document « Téléphonie mobile : guide à l'intention des communes et des villes » occasionnera, en comparaison, une charge faible.

10.3.4.3 Calendrier

L'actualisation de la base de données RNI de l'OFCOM et la création d'un cadastre en ligne prendront plusieurs années. Ces projets devront être traités notamment selon les règles du droit des marchés publics. La campagne d'information pourrait quant à elle être préparée en l'espace d'une année ; le calendrier dépendra toutefois de la disponibilité du financement requis.

10.3.4.4 Adaptations légales

Des adaptations légales pourraient être nécessaires pour pouvoir réaliser l'échange de données et la campagne d'information. Ce point doit encore être clarifié. En revanche, les bases légales pour l'exécution des tâches sont disponibles.

10.3.5 Conclusion

L'information est importante pour pouvoir rendre le débat plus objectif. Toutefois, il est essentiel que cette information soit communiquée au public de manière compréhensible, ce qui constituera un complément judicieux aux données recueillies dans le cadre du monitoring. La campagne d'information devra être soigneusement planifiée pour pouvoir atteindre l'objectif visé, et elle ne devra être réalisée que si le financement est garanti sur le long terme. L'actualisation du document « Téléphonie mobile : guide à l'intention des communes et des villes » est souhaitée en 2020.

10.4 Encouragement de la recherche concernant les effets potentiels de la téléphonie mobile sur la santé

10.4.1 Description

La question de savoir si le rayonnement ambiant a réellement des effets néfastes sur la santé de la population est au cœur des discussions actuelles relatives au déploiement de la 5G. Au regard des incertitudes scientifiques qui demeurent, le groupe de travail estime qu'il est essentiel de poursuivre les travaux de recherche dans ce domaine. La plupart des incertitudes mises en lumière dans le cadre des études épidémiologiques s'expliquent par le fait que de nombreux travaux n'ont pas été menés de manière prospective (p. ex. études de cas sur les tumeurs au cerveau). Il est donc important d'associer aux approches expérimentales des analyses prospectives ainsi qu'un monitoring. Celui-ci doit comprendre un

relevé de l'exposition ainsi qu'une surveillance de la santé. Le groupe de travail estime que les approches suivantes seraient pertinentes (sans ordre de priorité) :

- De nombreuses études traitent déjà des effets biologiques du RNI de haute fréquence en dessous de 6 GHz, mais peu de ceux des ondes millimétriques. Des études doivent donc être réalisées afin d'étudier si celles-ci possèdent d'autres effets biologiques.
- Par ailleurs, le rôle joué par la caractéristique du signal (p. ex. modulation) dans l'ensemble des gammes de fréquences utilisées par la téléphonie mobile n'est pas encore clarifié. Des approches expérimentales permettent d'étudier ce point de manière systématique. Dans le cadre des études sur l'exposition et des études d'observation, il conviendrait d'évaluer non seulement les valeurs moyennes (p. ex. valeurs TAS), mais aussi d'autres métriques qui caractérisent la forme de l'onde.
- Une fréquence plus élevée, et en conséquence une longueur d'onde plus basse, pose de nouvelles exigences à la dosimétrie. De manière générale, une bonne dosimétrie est essentielle pour l'interprétation des résultats. Les questions centrales portent sur les modèles anatomiques et la méthode de modélisation. Une représentation de la peau qui soit la plus proche possible de la réalité, avec ses différentes couches, est indispensable car des modèles possédant une bonne résolution mettent en évidence d'autres intensités du champ électrique induites que les modèles monocouches et multicouches homogènes fréquemment utilisés. Dès lors se pose la question de savoir quelle méthode de modélisation est la mieux adaptée pour la simulation des champs dans les tissus. Il existe aujourd'hui peu de modélisations validées de manière empirique dans la gamme des ondes millimétriques. Des études correspondantes seraient donc les bienvenues. Ces travaux dosimétriques permettraient d'analyser l'activité métabolique de la peau et des autres organes sous l'effet de l'exposition au RNI de haute fréquence. Des effets sur la peau, qui est un organe complexe, pourraient avoir des conséquences importantes sur l'organisme.
- Une étude nationale sur la santé permettrait d'appréhender de manière prospective les effets sur la santé de la population. Afin de déterminer la faisabilité d'une telle étude, une phase pilote de biosurveillance humaine (pas spécifique au champ électromagnétique) est menée actuellement en collaboration avec l'OFSP. Une étude prospective de grande ampleur permettrait d'étudier sur le long terme une multitude d'expositions et d'effets possibles sur la santé. Elle permettrait en particulier de se pencher sur les changements relatifs aux symptômes et à la qualité de vie, la saisie longitudinale de marqueurs biologiques offrant une meilleure compréhension du processus de la maladie. Plus la quantité des données saisies est importante, mieux on peut prendre en compte d'autres facteurs d'influence dans l'analyse, et interpréter les associations pour définir une causalité. Un relevé continu de l'exposition au RNI avec la meilleure précision possible jouerait un rôle clé dans ce contexte. Des incitations à la recherche seront aussi nécessaires pour pouvoir mettre au point de telles méthodes de relevé. Ces approches prospectives sont les plus probantes sur le plan méthodologique mais la mise à disposition de résultats prend du temps.
- Outre les études sur la population, il est également envisageable d'analyser la situation des personnes qui attribuent leurs problèmes de santé au RNI. Un service interdisciplinaire de consultation de médecine environnementale sur le RNI pourrait s'occuper en particulier des personnes souffrant d'hypersensibilité électromagnétique et consigner les cas de manière systématique. Il serait ainsi possible d'identifier et de décrire les phénomènes qui disparaissent dans le bruit statistique des études sur la population et susceptibles de livrer de nouvelles hypothèses pour les travaux de recherche futurs. En plus de collecter de nouvelles informations, ce service viendrait en aide aux personnes concernées en leur proposant un conseil. Par ailleurs, il permettrait d'expérimenter de nouvelles méthodes de traitement.
- Étant donné que la quasi-totalité de la population utilise un téléphone mobile, on peut s'attendre à ce qu'un risque de tumeur éventuel se traduise par une augmentation des nouveaux cas en tenant compte d'un certain temps de latence. C'est pourquoi il est proposé de mettre en place un monitoring des tumeurs au cerveau (p. ex. gliome, méningiome, tumeur de l'hypophyse). La tête est la partie du corps la plus fortement exposée au RNI ; les tumeurs du cerveau n'ont que peu d'autres facteurs de risques qui pourraient avoir une influence sur l'évolution de l'incidence dans le temps. L'Institut national pour l'épidémiologie et l'enregistrement du cancer pourrait servir ici de

source de données pour le monitoring sur les tumeurs. Pour pouvoir interpréter les maladies tumorales dans le contexte de l'utilisation des téléphones mobiles, il est important aussi de répertorier les indicateurs statistiques relatifs à l'usage moyen des téléphones mobiles et éventuellement des téléphones fixes sans fil, la puissance d'émission moyenne des terminaux, ainsi que l'évolution du comportement des utilisateurs au sein de la population. Idéalement, ces indicateurs pourraient être complétés par des données sur la puissance d'émission moyenne et les expositions environnementales.

- Le rayonnement optique des écrans des terminaux actuels et futurs pourrait induire un besoin de recherche concernant les effets sur la santé oculaire de manière générale, et sur les rétines en particulier, ainsi que les effets sur les rythmes circadiens des utilisateurs.
- De manière générale, les projets de recherche permettent de réagir de manière flexible et rapide aux nouvelles connaissances acquises ; il n'est donc pas nécessaire de formuler des recommandations détaillées sur d'autres points. Dans ce contexte, il convient en premier lieu d'acquérir des connaissances, d'une part, sur le rôle que joue le rayonnement dans l'apparition de cancers, de maladies neurodégénératives et de symptômes non spécifiques ainsi que dans la reproduction et, d'autre part, sur l'influence du rayonnement sur la physiologie du cerveau, sur les fonctions cognitives et sur d'autres fonctions corporelles. La recherche sur le RNI peut être coordonnée et pilotée dans le cadre d'un programme de recherche, comme cela a déjà été fait par le passé en Suisse (PNR 57) et est actuellement pratiqué en Allemagne et en France, ou par le biais de mandats de recherche spécifiques. Il peut être intéressant ici d'étudier les potentiels de synergie avec, par exemple, la Fondation pour la recherche sur l'électricité et la communication mobile, établie à l'EPFZ, avec un centre de compétences spécialisé dans les questions d'épidémiologie environnementale comme l'Institut tropical et de santé publique suisse (Swiss TPH) ou encore les instituts universitaires de médecine générale, ces organes mettant à disposition des organisations et un réseau déjà existants.
- Une étude approfondie de la sensibilité des cellules de Schwann à une exposition forte au RNI de haute fréquence constitue un exemple de projet de recherche ciblé. Certaines études épidémiologiques et quelques études animales mettent en évidence une augmentation du risque de gliomes et de schwannomes. Une de ces études animales indique un risque accru de phéochromocytomes, une tumeur des cellules chromaffines de la glande méduillo-surrénale. On sait que les cellules de Schwann et les cellules gliales, ainsi que les cellules chromaffines de la glande méduillo-surrénale, proviennent de la même cellule progénitrice. On peut donc se poser la question de savoir si ces types de cellules réagissent spécifiquement au RNI de haute fréquence. De même, on se demande s'il est possible que d'autres types de cellules possédant une origine et des propriétés similaires, telles que les mélanocytes, soient sensibles au RNI de haute fréquence. Ces derniers, qui peuvent dégénérer en mélanome, proviennent de la même cellule progénitrice et peuvent être pertinents dans le cadre de l'exposition à des fréquences plus élevées.

10.4.2 Coûts et financement

Les coûts associés à un projet de recherche pertinent se montent à plusieurs centaines de milliers de francs. Pour qu'un encouragement de la recherche produise un effet notable, les moyens disponibles doivent eux aussi être élevés.

L'art. 39a LTC précise qu'une partie du produit des redevances de concession peut être allouée à des travaux de recherche dans le domaine du RNI. Cet encouragement de la recherche doit être intensifié.

10.4.3 Utilité attendue

Cet encouragement de la recherche déploiera des effets positifs à plusieurs égards : il permet de combler un manque de connaissances scientifiques dans un domaine politiquement sensible ; il fait office de système d'alerte précoce pour les

risques sanitaires ; il soutient – en tant que mesure d'accompagnement et de prévention largement acceptée – le développement des réseaux et les travaux de communication menés par la Confédération et les cantons ; il est le garant de la conservation des compétences de recherche suisses dans un secteur technologique en pleine évolution.

10.4.4 Mise en œuvre

10.4.4.1 Répartition des compétences

La mise en place du cadre permettant le développement de la recherche incombe aux autorités fédérales. Par la suite, la tâche sera transférée à une organisation proche de la recherche dans le cadre d'un mandat de prestations. Par ailleurs, une organisation proche de la recherche sera chargée de développer et de coordonner les travaux de recherche dans le domaine des effets de la téléphonie mobile sur la santé. Les autorités fédérales ne sont en effet pas les mieux placées pour effectuer cette tâche.

10.4.4.2 Charge incombant aux autorités

La création du cadre requis nécessitera des ressources en personnel importantes. Par la suite, la charge de travail incombant aux autorités diminuera.

10.4.4.3 Calendrier

Une année, au moins, sera nécessaire pour garantir un cadre légal et financier.

10.4.4.4 Adaptations légales

L'art. 39a LTC propose une base légale pour l'encouragement de la recherche dans le domaine des effets de la téléphonie mobile sur la santé. Il conviendra d'étudier dans quelle mesure cette disposition devra être concrétisée dans une ordonnance.

10.4.5 Conclusion

Un monitoring du RNI et un monitoring de la santé ne permettront pas à eux seuls de remédier au manque de connaissances dans le domaine de la téléphonie mobile et du rayonnement. La Confédération doit aussi participer de manière durable à l'étude scientifique des éventuels risques associés au rayonnement. La révision de la LTC permet désormais de mettre à disposition le financement requis.

10.5 Service de consultation de médecine environnementale sur le RNI

10.5.1 Description

Cette mesure correspond au développement du réseau de consultation médicale mis en place par les Médecins en faveur de l'environnement. Il s'agit de créer de manière durable un service spécialisé interdisciplinaire dirigé par des médecins et chargé de l'enregistrement systématique des cas. Ce service mènera des investigations de médecine environnementale auprès des personnes qui attribuent des troubles de leur santé ou de celle de leurs animaux aux immissions causées par les installations de radiodiffusion (ou autres sources de RNI de haute et de basse fréquence). Dans une étape ultérieure, le domaine d'activité du service de consultation devra être étendu à d'autres facteurs environnementaux.

La procédure serait la suivante : le médecin de famille mène la première consultation et oriente, si besoin, le patient vers le centre, qui réalisera des examens complémentaires portant sur la médecine environnementale réalisés par le centre (p. ex. examens spécialisés, tests de provocation, investigations au domicile ou sur le lieu de travail). Par ailleurs, il est important qu'une collaboration interdisciplinaire soit mise en place.

Le service devra être rattaché à une institution adaptée, par exemple à un hôpital universitaire. Il devra régulièrement faire rapport à l'OFEV et à l'OFSP sur les cas observés et les liens systématiques possibles. Cette démarche a pour objectif d'acquérir des connaissances qui permettent ensuite d'orienter la recherche et / ou d'examiner l'opportunité de renforcer la protection contre les émissions.

L'offre doit s'inscrire dans le cadre des soins médicaux de base (médecin de famille/vétérinaire/services environnementaux). Le rapport « Étude de faisabilité d'un monitoring des effets potentiels sur la santé lié au NIS »¹⁰⁷ présente une proposition de mise en œuvre concrète de la mesure.

10.5.2 Coûts et financement

10.5.2.1 Investissement et fonctionnement

Les coûts liés aux consultations des patients sont à la charge de l'assurance-maladie. Il faut compter environ 2000 francs supplémentaires pour des examens plus approfondis, par cas. Les expériences actuelles indiquent que des examens approfondis sont pertinents pour environ 20 cas par an. À cela s'ajoutent les coûts occasionnés par l'enregistrement et l'évaluation systématiques des observations ainsi que l'établissement des rapports. Le montant exact dépend de la forme et de la mise en œuvre concrètes du service de consultation et ne peut donc être estimé à l'heure actuelle.

10.5.2.2 Financement

En vertu de l'art. 39a LTC, les coûts associés au service de consultation de médecine environnementale sur le RNI doivent être pris en charge par la Confédération : « Le Conseil fédéral peut allouer une partie du produit des redevances de concession pour des mesures d'accompagnement telles que la recherche ou les études en lien avec les technologies de radiocommunication ».

10.5.3 Utilité attendue

Le cadre légal actuel n'offre pas de soutien aux personnes rencontrant des nuisances dans leur environnement direct en raison d'un RNI émis par des stations émettrices, ou constatant des atteintes à leur santé ou à celle de leurs animaux. Les cantons procèdent certes à des mesures d'exposition individuelles. Toutefois, si celles-ci respectent les valeurs légales, la personne concernée ne peut attendre aucune aide car l'ORNI règle la protection de la santé de manière exhaustive. Cette situation peut se révéler très éprouvante pour la personne et son entourage et peut conduire à un sentiment d'impuissance, à une exaspération, à un comportement d'évitement, à un préjudice économique, à une chronicité des troubles ou à des effets nocebo¹⁰⁸.

10.5.4 Mise en œuvre

Une collaboration entre la Confédération et une institution adaptée, par exemple un hôpital universitaire, est nécessaire pour pouvoir créer un service de consultation de médecine environnementale sur le RNI. Il conviendra d'établir avec cette institution un mandat de prestations qui garantisse l'offre et l'établissement de rapports durant plusieurs années.

10.5.4.1 Répartition des compétences

La description de la prestation, le choix et le financement d'un service de consultation de médecine environnementale sur le RNI relèveront de la compétence de l'OFEV. Par ailleurs, au moment de définir l'offre, il conviendra d'étudier la possibilité d'une collaboration avec l'OFSP.

10.5.4.2 Charge incombant aux autorités

Le montant des coûts ne peut être chiffré à l'heure actuelle. Les moyens correspondants peuvent être mis à disposition par la Confédération dans le cadre du budget actuel. Jusqu'à la conclusion d'un mandat de prestations, le besoin en personnel de la Confédération sera important. Ensuite, il diminuera. Il pourra toutefois être couvert par les ressources actuelles.

10.5.4.3 Calendrier

La création d'un service de consultation de médecine environnementale sur le RNI prendra une à deux années.

10.5.4.4 Adaptations légales

Les bases légales actuelles rendent possible la création d'un service de consultation de médecine environnementale sur le RNI.

10.5.5 Conclusion

La mesure est associée à une offre qui existe depuis quelques années, et repose donc sur l'expérience correspondante. Il s'agit ici d'étayer l'offre et de procéder à une évaluation systématique des résultats. Les personnes rencontrant des nuisances dans leur environnement direct en raison du RNI causé par des stations émettrices, ou ressentant des atteintes à leur santé, bénéficieraient ainsi d'une offre en plus des soins de base du médecin de famille. Au final, la création d'un tel service rendra le débat plus objectif et des informations précieuses seront collectées dans la perspective de projets de recherche concrets.

10.6 Création de la plateforme d'échange « Téléphonie mobile du futur »

10.6.1 Description

Il est prévu de mettre sur pied une plateforme d'échange entre les autorités fédérales, cantonales et communales, l'industrie des télécommunications, les organisations du monde médical, les associations de protection et les associations d'utilisateurs. Les objectifs d'une telle plateforme sont de proposer un échange mutuel et de mettre à disposition des informations sur les nouvelles technologies et les développements.

10.6.2 Coûts et financement

Les coûts associés à la création d'une telle plateforme seront faibles. Il s'agit essentiellement de coûts en personnel.

10.6.3 Utilité attendue

L'échange direct, en face à face, autour d'une même table, encourage la compréhension mutuelle, voire même la confiance réciproque. Il serait possible ainsi d'informer ainsi la population de manière plus adaptée et plus anticipée sur les risques et les opportunités associés aux évolutions de la téléphonie mobile.

10.6.4 Mise en œuvre

10.6.4.1 Répartition des compétences

La Confédération, et en particulier l'OFEV et l'OFCOM, sera responsable de la plateforme.

10.6.4.2 Charge incombant aux autorités

Le besoin initial en personnel pourra être couvert par les ressources actuelles.

10.6.4.3 Calendrier

Les travaux en lien avec la plateforme pourraient être lancés une fois ceux du groupe de travail terminés.

10.6.4.4 Adaptations légales

Les bases légales actuelles permettent la création d'une telle plateforme.

10.6.5 Conclusion

La création de la plateforme d'échange « Téléphonie mobile du futur » encouragera une compréhension mutuelle et pourrait constituer une mission ultérieure du groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement.

11 Recommandations

Forts de leurs différents intérêts et connaissances, les membres du groupe de travail ont rassemblé les données relatives à la téléphonie mobile et au rayonnement et ont cherché des solutions et des points de convergence.

Le groupe de travail formule les recommandations suivantes à l'intention du DETEC :

- se fonder, pour la prise de décisions concernant le développement de la téléphonie mobile en Suisse, sur les faits et prévisions établis aux chapitres 1 à 7,
- prendre acte des propositions formulées au chapitre 8,
- prendre acte des propositions formulées au chapitre 9,
- mettre en œuvre les mesures d'accompagnement visées au chapitre 10,
- poursuivre, dans un avenir proche, le dialogue avec les différents acteurs tel qu'il a été initié dans le groupe de travail en vue des développements futurs dans le domaine de la téléphonie mobile (cf. point 10.6),
- clôturer le mandat octroyé le 28 septembre 2018 et dissoudre le groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement.

Par ailleurs, le groupe de travail estime que les processus de la Confédération doivent être examinés de manière proactive au regard des prochaines concessions de fréquences aux services de télécommunication. Ainsi, il convient d'identifier assez tôt les effets que les nouvelles fréquences peuvent avoir notamment en matière d'exposition de la population au RNI et d'exécution des tâches fédérales et cantonales. En outre, le groupe de travail est d'avis que les instruments, processus et méthodes nécessaires à la délivrance d'autorisations pour des installations doivent être mis à la disposition des autorités compétentes en la matière afin de les soutenir dans cette entreprise.

Annexe 1 : Mesures examinées

Le groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement a examiné les 57 mesures individuelles et le train de mesures (n° 58) suivants, et les a regroupés par thème. Ces mesures constituent la base sur laquelle se fonde l'élaboration des options (cf. chap. 8).

Thème	N°	Mesure
Architecture de réseau	01	Réduction des anciens réseaux (mise hors service des éléments de réseau GSM/UMTS)
	02	Monopole du réseau
	03	Séparation entre utilisation de la 5G par l'industrie et par les consommateurs
	04	Réseau hybride sur la base d'un concept de téléphonie mobile développé par la branche et les villes/communes
	05	Développement, par les exploitants et les autorités locales (cantonales/communales), des réseaux optimisé sur le plan des immissions
	06	Couverture de petites localités ainsi que de parties et de bordures d'agglomération avec des stations de base hors zones à bâtir (conformité de l'installation à l'affectation de la zone)
	07	Séparation entre desserte interne et desserte externe
	08	Séparation entre desserte intérieure et desserte extérieure, infrastructure de communication à faible rayonnement à l'intérieur des locaux et VLInst de 0,6 V/m
Seuil pour les cas mineurs : limitation préventive des émissions ; (annexe 1, ch. 61, ORNI)	09	Stations émettrices < 6 W ERP doivent aussi être soumises à la VLInst
	10	Modification de la limitation applicable aux microcellules (augmentation à 50 W du seuil pour les cas mineurs)
	11	Petites cellules d'une puissance ≤ 100 W ERP sans calcul du RNI et avec procédure d'autorisation simplifiée
	12	Augmentation du seuil pour les cas mineurs selon la situation ou pour les procédures d'autorisation de construire (différenciation en fonction de W ERP)
Définition des installations (annexe 1, ch. 62, ORNI)	13	Nouvelle définition du terme « installation » (une installation par exploitant)
	14	Adaptation de la définition du terme « installation » (maintien uniquement du critère « même toit », suppression du critère < 6 W)
	15	Adaptation de la définition du périmètre de l'installation et du périmètre susceptible d'opposition
Mode d'exploitation déterminant (annexe 1, ch. 63, ORNI)	16	Nouvelle définition du mode d'exploitation déterminant (moyenne journalière)
	17	Adaptation du mode d'exploitation déterminant en vue d'une méthodologie de la valeur moyenne lors de l'exploitation et lors des mesures
	18	Calcul de la valeur moyenne de la puissance d'émission comme base pour l'évaluation

	19	Pas de diminution du niveau de protection (maintien du mode d'exploitation déterminant et de la VLInst)
	24	Méthode d'évaluation pour les antennes adaptatives (mode d'exploitation déterminant pour ces dernières)
VLInst (annexe 1, ch. 64, ORNI)	20	Harmonisation de la VLInst (base : VLInst en vigueur)
	21	Augmentation de la VLInst à 20 V/m
	22	Augmentation de la VLInst à 11,5 V/m, combinée avec une nouvelle définition du terme « installation »
	23	Suppression de la VLInst
	19	Pas de diminution du niveau de protection (maintien du mode d'exploitation déterminant et de la VLInst)
	08	Séparation entre desserte intérieure et desserte extérieure, infrastructure de communication à faible rayonnement à l'intérieur des locaux et VLInst de 0,6 V/m
Exécution de l'ORNI	25	Établissement d'une recommandation de mesure pour les stations de base de téléphonie mobile pour la 5G
	26	Harmonisation de l'exécution de l'ORNI et des recommandations d'exécution
	27	Révision de la recommandation d'exécution de l'ORNI
	28	Suppression des hypothèses cumulées de pire scénario dans les dispositions d'exécution
	29	Amélioration de la reproductibilité et de la comparabilité du calcul et de la mesure par des mesures moyennes spatiales réalisées à l'aide de robots (détermination de l'exposition la plus proche possible de la réalité)
	30	Examen périodique des résultats du monitoring du RNI et correction des méthodes de calcul et de mesure
	31	Adaptation de la publication « Téléphonie mobile : guide à l'intention des communes et des villes »
	32	Utilisation de modélisations de bâtiments en 3D
	33	Non-prise en compte des parcelles vides
	34	Acceptation des imprécisions lors du calcul de l'exposition au rayonnement
	35	Détermination des paramètres d'exploitation admis après la mesure de réception
	36	Liberté accrue en matière de décision d'ordonner des mesures
	37	Simplifications mineures de la documentation liée à la procédure d'octroi des autorisations
	38	Séparation entre examen du droit environnemental et permis de construire
	39	Définition du périmètre susceptible d'opposition
	15	Adaptation de la définition du périmètre de l'installation et du périmètre susceptible d'opposition
	40	Élargissement de la définition des cas mineurs (pour les modifications d'antennes existantes)
	41	Calcul précis de l'exposition au rayonnement dans les LUS

	42	Pas d'obligation, pour les habitants, d'accepter la réalisation d'une mesure de réception
	43	Automatisation de la comparaison dans la banque de données RNI de l'OFCOM
	44	Développement de la banque de données RNI de l'OFCOM (historique des antennes et des diagrammes de celles-ci)
	45	Autorisation par un organe central (rattaché à la Confédération, p. ex.)
	46	Adaptation de la banque de données RNI de l'OFCOM
	47	Exploitation des opportunités que présente la numérisation
	48	Cadastre en ligne
	09	Stations émettrices < 6 W ERP doivent aussi être soumises à la VLInst (pas d'autorisation obligatoire, amendes dissuasives)
Autorisation et recherche d'emplacements	49	Simplification de la procédure d'octroi des autorisations
	50	Utilisation conjointe des stations de base et des éléments infrastructure
	51	Encouragement de la mise à disposition de biens-fonds publics pour le développement de la téléphonie mobile
	52	Soumission des installations de téléphonie mobile au droit du bail
Mesures d'accompagnement dans le domaine de la santé et monitoring	53	Prix des prestations de téléphonie mobile en fonction de la quantité
	54	Encouragement de la recherche et identification des besoins en la matière dans le domaine des ondes millimétriques
	55	Service de consultation de médecine environnementale sur le RNI/service de médiation sur le RNI
	56	Évaluation périodique de l'exposition au rayonnement électromagnétique de haute fréquence (y c. publication)
	57	Sauvetage et sécurité
	58	Train de mesures

Annexe 2 : Interventions parlementaires

Le 25 février 2015, le Conseil fédéral a adopté le rapport en réponse aux postulats 12.3580 (« Pour des réseaux de téléphonie mobile adaptés aux exigences futures ») et 14.3149 (« Réduction du nombre d'antennes de téléphonie mobile par l'adaptation des valeurs limites »), déposés respectivement par le conseiller national Ruedi Noser et par le groupe libéral-radical :

- [Réseaux de téléphonie mobile adaptés aux exigences futures](#) (PDF, 471 kB, 24.02.2015),
- [Analyse de la situation / état des lieux](#) (PDF, 901 kB, 24.02.2015).

Le rapport esquisse des solutions afin que les réseaux suisses puissent faire face à l'augmentation attendue du trafic, en particulier du trafic de données : utilisation de fréquences supplémentaires, introduction de nouvelles technologies ou encore densification des réseaux par la construction de nouvelles antennes. En raison des valeurs limites prévues par l'ORNI, il n'est souvent pas possible d'augmenter la puissance des installations existantes. Plusieurs modifications du cadre légal ont été examinées lors de l'élaboration de ce rapport.

Ce rapport a par la suite constitué la base des débats parlementaires. En janvier 2017, l'OFCOM et l'OFEV ont élaboré, à l'intention de la Commission des transports et des télécommunications (CTT) du Conseil des États, le rapport « Développements dans le domaine de la téléphonie mobile », qui fait état des développements depuis la publication du rapport « Réseaux de téléphonie mobile adaptés aux exigences futures ».

Les motions [16.3007](#) (« Garantir le plus rapidement possible la modernisation des réseaux de téléphonie mobile ») et [18.3006](#) (« Éviter l'effondrement des réseaux de téléphonie mobile et assurer l'avenir numérique du pays »), qui ont été déposées respectivement par la CTT du Conseil national et par son homologue du Conseil des États et qui exigent un assouplissement des valeurs limites fixées dans l'ORNI en vue d'une introduction rapide de la technologie 5G, ont toutes deux été rejetées à quelques voix près par le Conseil des États.

C'est dans ce contexte que l'ancienne conseillère fédérale Doris Leuthard a instauré un groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement en septembre 2018. Pendant que ce groupe de travail s'attelait à sa tâche, plusieurs interventions parlementaires ont été déposées à son sujet, sur la 5G ainsi que sur les effets du RNI sur l'être humain et l'environnement.

- [18.4147 lp. Hardegger](#) : Groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement. Mandat et composition
- [19.3089 lp. Hardegger](#) : Téléphonie mobile. La 5G et les risques qu'elle présente pour la santé
- [19.3113 lp. Munz](#) : Qui assume le risque que la technologie 5G fait peser sur la santé ?
- [19.3120 lp. Glauser](#) : Rayonnement non ionisant. Santé et responsabilité
- [19.3169 lp. Häberli-Koller](#) : Téléphonie mobile. Groupe de travail du DE-TEC
- [19.3180 lp. Semadeni](#) : Phonegate. Informer correctement les utilisateurs de téléphones portables
- [19.3211 lp. Borloz](#) : Espaces publics. La création de zones protégées des champs électromagnétiques pourrait favoriser l'accès aux personnes hypersensibles
- [19.3321 lp. Ammann](#) : Le lancement en Suisse de la nouvelle technologie de téléphonie mobile qu'est la 5G requiert de la Confédération qu'elle informe dûment la population
- [19.3345 lp. Friedl](#) : Incidences des champs électromagnétiques sur les animaux et les plantes. Nécessité de mener des recherches
- [19.3431 lp. Fiala](#) : Quels sont les avantages économiques et les conséquences sanitaires de la 5G ?
- [19.3505 lp. Töngi](#) : Attribution de concessions de téléphonie mobile pour la 5G alors que les autorités chargées de délivrer les autorisations ne disposent pas des bases légales nécessaires
- [19.3534 lp. Borloz](#) : 5G. Un groupe de travail planche sur l'impact des ondes électromagnétiques en Suisse, l'indépendance des membres est au moins aussi importante que leurs compétences

-
- [19_3535 Ip. Gschwind](#) : Lancement de la 5G en Suisse. Charge supplémentaire pour les cantons. Quelle compensation de la part de la Confédération ?
 - [19_3609 Ip. Hardegger](#) : Téléphonie mobile. Qui planifie et qui assume les risques ?
 - [19_3696 Ip. Munz](#) : Rayonnement non ionisant. Devoir d'information de l'OFSP
 - [19_3698 Ip. Munz](#) : Rayonnement électromagnétique non ionisant. Recherche, monitorage et liberté de choisir son degré d'exposition
 - [19_4043 Po. Häberli-Koller](#) : Pour un réseau de téléphonie mobile respectueux du développement durable
 - [19_4073 Mo. Graf-Litscher](#) : Encouragement de la recherche en matière de téléphonie mobile et de rayonnement
 - [19_4246 Ip. Hardegger](#) : Antennes adaptatives et pics d'exposition. Il y a toujours des questions sans réponse
 - [19_1025 Q Reimann](#) : Facteurs du déclin de la biodiversité. Pourquoi l'exposition croissante aux rayonnements n'est-elle pas évoquée ?
 - [19_5033 Qst. Estermann](#) : Téléphonie mobile. Le passage à la norme 5G correspond-il à une « modification mineure » ?
 - [19_5274 Qst. Regazzi](#) : 5G. Informer et expliquer pour éliminer certains préjugés
 - [19_5286 Qst. Schneider Schüttel](#) : Antennes 5G. Quelles sont les valeurs limites applicables ?
 - [19_5349 Qst. Bigler](#) : 5G. Et maintenant ?
 - [19_5344 Qst. Brunner](#) : 5G. Des retards et des frais à la charge des milieux économiques ?

Annexe 3 : Mandats et membres du groupe central et des sous-groupes

Sous-groupe 1 : Trafic de données et choix de l'emplacement

Mandat

1^{er} thème : volumes de données

- Trafic de données, en particulier développements depuis le rapport de 2015
 - Situation actuelle : degré d'exploitation de la VLInst, réserves et potentiel des réseaux et installations existants
 - Situation future : besoins et nécessités en vue des développements futurs, en particulier de la 5G

2^e thème : architecture de réseau

- Besoins et stratégies futurs concernant le développement de l'architecture des réseaux afin de répondre à la demande et à garantir le principe de précaution
- Définition de deux à trois topologies de réseau typiques

3^e thème : recherche d'emplacements pour les antennes

- Identification des défis auxquels les opérateurs de réseau devront faire face dans le cadre de la localisation d'emplacements pour les antennes
- Rôle des autorités dans ce processus

4^e thème : rapport entre volume de données et exposition

- Possibilités sur les plans de la technique et de l'exploitation afin de transférer un volume de données croissant sans augmenter l'exposition de la population

Membres

- Robert Badertscher, chef du projet « Connectivity », Chemins de fer fédéraux (CFF) (suppléant : Robert Gisler, technicien ES en télécommunications, chef du projet « Rollout GSM-R », CFF)
- Valentin Delb, chef de section, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, canton de Zurich, délégué de la Conférence des chefs des services de protection de l'environnement (CCE)
- Markus N. Durrer, ingénieur électricien et VDI Hygiene A, consultant indépendant IBH, consultant technique auprès de l'association Médecins en faveur de l'environnement (MfE)
- Christian Grasser, directeur, Association suisse des télécommunications (asut)
- Philippe Horisberger, directeur suppléant, OFCOM (direction)
- Pascal Krähenbühl, Ing. él. dipl. HES, chef de section, OFCOM
- Sven Kühn, Dr. sc. EPFZ, chef de projet, IT'IS Foundation
- Harry Künzle, Ing. él. dipl. HES, chef Dienststelle Umwelt und Energie, ville de St-Gall, délégué UVS (suppléant : Andreas Küng)
- Hugo Lehmann, Dr. rer. nat., chef Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder, Swisscom (Suisse) SA
- Guillaume Moukouri, Salt Mobile SA
- Andreas Müller, Ing. él. dipl. HES, Head of Network Environment, Swisscom (Suisse) SA
- Manfred Portmann, Service de l'environnement, canton de Fribourg, délégué CCE
- Roger Schaller, Head of Resources & Administration, Cellnex Switzerland SA

-
- Andreas Siegenthaler, Dr. phil. nat., collaborateur scientifique, OFEV
 - André Trabold, Ing. él. dipl. ETS, chef du groupe RNI, OFCOM
 - Rolf Ziebold, MAS CCM, Senior Expert Corp. Com., Sunrise Communications SA (suppléant : R. Hinn)

Sous-groupe 2 : Volume de données et exposition

Mandat

Rapport entre volume de données, rayonnement et exposition

- Indication, pour les différentes architectures/topologies de réseau :
 - de l'exposition de la population au RNI provenant des stations de base et
 - de l'exposition des utilisateurs au rayonnement de leurs terminaux
- Monitoring du RNI

Membres

- Joseph Al Ahmar, Ing. mécatronique dipl., collaborateur scientifique, OFEV
- Peter Fritschi, Ing. el. ETS/MBA, Engineer II, Swisscom (Suisse) SA
- Jürg Fröhlich, Dr. sc. techn., Head of Business and Project Management, Fields at Work SARL
- Roland Hinn, Ing. mag. rer. soc. oec. dipl., Senior Engineer Infrastructure Quality, Sunrise Communications SA
- Sven Kühn, Dr. sc. EPFZ, chef de projet, IT'IS Foundation
- Niels Kuster, Prof. Dr., directeur, IT'IS Foundation
- Hugo Lehmann, Dr. rer. nat., chef Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder, Swisscom (Suisse) SA
- Erwin Mülhauser, Ing. él. dipl. ETS, expert CEM/CEME/RNI, OFCOM (suppléant : André Trabold)
- Andreas Müller, Ing. él. dipl. HES, Head of Network Environment, Swisscom (Suisse) SA
- Alexander Reichenbach, Dipl. sc. nat. EPF, chef de section, OFEV (direction)
- Andreas Siegenthaler, Dr. phil. nat., collaborateur scientifique, OFEV
- Evelyn Stempfel, Dr. phil. nat., cheffe de section, Office fédéral de la santé publique (OFSP)
- Nadia Vogel, Dr. sc. nat. EPF, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, canton de Zurich

Sous-groupe 3 : Répercussions sur la santé

Mandat

État actuel de la recherche scientifique, en particulier nouvelles connaissances depuis le rapport de 2015

- Exposition réelle de la population et atteintes portées à celle-ci en raison des stations de base et des terminaux
 - Actuellement
 - Si possible à l'avenir, en particulier pour la 5G
- État actuel de la recherche scientifique concernant les répercussions du RNI de haute fréquence sur l'être humain
 - Résumé de l'état de la science établi pour le rapport en réponse au postulat 12.3580 Noser
 - Études publiées depuis 2015

Membres

- Stefan Dongus, Dr. phil. nat., Environmental Exposures & Health Unit, Institut tropical et de santé publique suisse (Swiss TPH)

- Gregor Dürrenberger, Dr. sc. nat., directeur, Fondation de recherche sur l'électricité et la communication mobile (FSM)
- Markus N. Durrer, ingénieur électricien et VDI Hygiene A, consultant indépendant IBH, consultant technique auprès de l'association MfE
- Jürg Fröhlich, Dr. sc. techn., Head of Business and Project Management, Fields at Work SARL
- Yvonne Gilli, Dr. med., FMH
- Michael Hässig, Prof. Dr. med. vet., Université de Zurich (sur mandat de l'association MfE)
- Hugo Lehmann, Dr. rer. nat., chef Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder, Swisscom (Suisse) SA
- Manuel Murbach, Dr. sc. EPFZ, chef de projet, IT'IS Foundation
- Carlos Quinto, Dr. med., FMH
- Alexander Reichenbach, Dipl. sc. nat. EPF, chef de section, OFEV
- Martin Röösli, Prof. Dr. phil. nat., professeur d'épidémiologie environnementale, Swiss TPH, directeur du groupe d'experts BERENIS (direction)
- Edith Steiner, Dr. med., MfE
- Evelyn Stempfel, Dr. phil. nat., cheffe de section, OFSP
- André Trabold, Ing. él. dipl. ETS, chef du groupe RNI, OFCOM

Groupe central

Mandat

Le groupe central est chargé d'élaborer le contenu du rapport à l'intention du DETEC, afin que le groupe de travail sur la téléphonie mobile et le rayonnement puisse examiner les parties prêtes au fur et à mesure lors de ses séances, dont les dates ont déjà été arrêtées. Le calendrier du groupe central est établi en fonction de ces séances. Les tâches de ce dernier sont notamment les suivantes :

a) Identifier et évaluer les mesures possibles

- Rassembler et lister toutes les mesures permettant d'influencer les capacités de transfert de données 5G en Suisse
- Garantir que soient listées et examinées les mesures qui sont mentionnées dans les rapports des trois sous-groupes et/ou qui sont exigées dans les interventions parlementaires
- Évaluer les mesures à l'aune de plusieurs aspects : coûts et délais pour les exploitants, modification de l'exposition de la population, charge administrative pour les autorités et les opérateurs de réseau et impact sur l'augmentation de la capacité des réseaux de téléphonie mobile

b) Options découlant des mesures évaluées

Le groupe central élabore, sur la base des mesures évaluées, des options permettant selon lui de relever les défis que pose la 5G. Ces options peuvent consister en des mesures individuelles ou en des trains de mesures.

c) Recommandations sur la base des options

Se fondant sur les options, le groupe central formule une ou plusieurs recommandations à l'intention du groupe de travail.

Membres

- Valentin Delb, chef de section, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, canton de Zurich, délégué CCE
- Yvonne Gilli, Dr. med., FMH
- Christian Grasser, directeur, asut
- Philippe Horisberger, directeur suppléant, OFCOM

-
- Harry Künzle, Ing. él. dipl. HES, chef Dienststelle Umwelt und Energie, ville de St-Gall, délégué UVS
 - Alexander Reichenbach, Dipl. sc. nat. EPF, chef de section, OFEV
 - Martin Röösli, Prof. Dr. phil. nat., professeur d'épidémiologie environnementale, Institut tropical et de santé publique suisse, directeur du groupe d'experts BERENIS
 - Paul Steffen, Dr. sc. nat., sous-directeur, OFEV (direction)
 - Urs Walker, avocat, chef de section, OFEV

Annexe 4 : Liste des abréviations utilisées

3GPP	Third Generation Partnership Project
5G	New Radio (5 ^e génération de téléphonie mobile)
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOSS	autorités et organisations chargées du sauvetage et de la sécurité
ARPANSA	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, autorité australienne en matière de radio-protection et de sécurité nucléaire
asut	Association suisse des télécommunications
BERENIS	groupe consultatif d'experts en matière de RNI
capex	capital expenditure, investissements
CCE	Conférence des chefs des services de la protection de l'environnement
CEM	champ électromagnétique
Cercl'Air	Société suisse des responsables de l'hygiène de l'air (société regroupant des représentants des autorités et des hautes écoles suisses qui traitent de la protection de l'air et de la protection contre le rayonnement non ionisant)
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
ComCom	Commission fédérale de la communication
CTT	Commission des transports et des télécommunications
D2D	communication device-to-device, d'appareil à appareil
DAB	Digital Audio Broadcasting, radiodiffusion audionumérique
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DRO	dérivés réactifs de l'oxygène
DTAP	Conférence suisse des directeurs cantonaux des travaux publics, de l'aménagement du territoire et de l'environnement
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial, radiodiffusion vidéonumérique (T désigne la diffusion « terrestre »)
EFHRAN	European Health Risk Assessment Network on EMF, réseau européen d'évaluation des risques sanitaires liés à l'exposition aux champs électromagnétiques
EHS	hypersensibilité électromagnétique
EPFZ	École polytechnique fédérale de Zurich
ERP	Effective radiated power ou equivalent radiated power, puissance apparente rayonnée effective ou équivalente (en watt)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute, organisme européen chargé de la normalisation des télécommunications
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System, futur système de communication mobile ferroviaire
FSM	Fondation de recherche sur l'électricité et la communication mobile
FTTH	Fiber to the home, réseau de télécommunication à fibre optique s'étendant jusque dans les entreprises, maisons et immeubles d'habitation
GSM	Global System for Mobile Communications (2 ^e génération de téléphonie mobile, 2G)
GSM-Rail	Global System for Mobile Communications - Railways, réseau exploité par les CFF pour les communications ferroviaires (signalisation en cabine, p. ex.)
ICNIRP	Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants
IFP	Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale
IMT-2020	International Mobile Telecommunications-2020, exigences applicables à la 5G définies par l'UIT
IoT	Internet of Things, Internet des objets
ISOS	Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse
LPE	loi du 7.10.1983 sur la protection de l'environnement (RS 814.01)
LRNIS	loi fédérale du 16.6.2017 sur la protection contre les dangers liés au rayonnement non ionisant et au son (RS 814.71)
LTC	loi du 30.4.1997 sur les télécommunications (RS 784.10)
LTE	Long Term Evolution (4 ^e génération de téléphonie mobile, 4G)
LUS	lieu à utilisation sensible (art. 3, al. 3, ORNI)

M2M	Machine-to-Machine, échange d'informations automatique entre deux appareils
METAS	Institut fédéral de métrologie
MIMO	Multiple Input Multiple Output, système de transmission utilisant plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur pour la communication sans fil
MORAN	Multi Operator Radio Access Network, partage de réseau entre plusieurs opérateurs
mW	milliwatt (unité de mesure de la puissance)
NICER	Institut national pour l'épidémiologie et l'enregistrement du cancer
OFCOM	Office fédéral de la communication
OFDM	orthogonal frequency-division multiplexing, procédé de codage de signaux numériques par répartition en fréquences orthogonales sous forme de multiples sous-porteuses
OFEFP	Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, aujourd'hui OFEV
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFSP	Office fédéral de la santé publique
OFT	Office fédéral des transports
OMS	Organisation mondiale de la santé
opex	operational expenditure, coûts d'exploitation
ORNI	ordonnance du 23.12.1999 sur la protection contre le rayonnement non ionisant (RS 814.710)
PNAF	Plan national d'attribution des fréquences
PNR	programme national de recherche
PPP	partenariat public-privé
PWLAN	Public Wireless LAN, réseau sans fil public
QoS	Quality of Service, qualité du service
RNI	rayonnement non ionisant
RNI	rayonnement non ionisant
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, Comité scientifique pour les risques sanitaires émergents et nouvellement identifiés
SSM	Strålsäkerhetsmyndigheten, autorité suédoise en matière de sécurité du rayonnement
TAB	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, organe du Bundestag d'évaluation des choix technologiques
TAS	taux d'absorption spécifique
UIT	Union internationale des télécommunications
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (3 ^e génération de téléphonie mobile, 3G)
UVS	Union des villes suisses
V/m	volt par mètre, unité de mesure de l'intensité du champ électrique
VLI	valeur limite d'immissions (annexe 2 ORNI)
VLIInst	valeur limite de l'installation (annexe 1 ORNI)
WLAN	Wireless Local Area Network, réseau local sans fil
WLL	Wireless Local Loop, raccordement téléphonique sans fil

Annexe 5 : Références

- ¹ Hug K., Achermann P., Dürrenberger G., et al. (2014) : Beurteilung der Evidenz für biologische Effekte schwacher Hochfrequenzstrahlung. Berne, rapport établi à la demande de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) : https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/externe-studien-berichte/beurteilung_der_evidenzfuerbiologischeeffekteschwacherhochfreque.pdf
- ² « Réseaux de téléphonie mobile adaptés aux exigences futures », rapport du Conseil fédéral du février 2015 en réponse aux postulats Noser 12.3580 et Groupe libéral-radical 14.3149 : <https://www.bakom.admin.ch/bakom/fr/page-daccueil/l-ofcom/organisation/bases-legales/dossiers-du-conseil-federal/reseaux-de-telephonie-mobile-adaptes-aux-exigences-du-futur.html>
- ³ <https://www.digitaldialog.swiss/fr>
- ⁴ <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-61417.html>
- ⁵ <https://www.bakom.admin.ch/bakom/fr/page-daccueil/suisse-numerique-et-internet/strategie-suisse-numrique.html>
- ⁶ https://www.uvek.admin.ch/dam/uvek/fr/dokumente/kommunikation/Bericht%20Informationsgesellschaft%202012-2015.pdf.download.pdf/bericht_strategie_12-15_IG_FR.pdf
- ⁷ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/electrosmog/dossiers/reseaux5g.html>
- ⁸ Loi du 30 avril 1997 sur les télécommunications (LTC), RS [784.10](#)
- ⁹ <https://www.admin.ch/opc/fr/federal-gazette/2017/6185.pdf>
- ¹⁰ <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaef?AffairId=20170058>
- ¹¹ Stratégie « Suisse numérique », septembre 2018 ([OFCOM](#))
- ¹² Loi du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (LPE), RS [814.01](#)
- ¹³ Ordonnance du 23 décembre 1999 sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI), RS [814.710](#)
- ¹⁴ [ICNIRP Guidelines](#), 1998
- ¹⁵ Missling A., Riel A., Wuscheck M., Reidenbach H.-D., Weiskopf D. (2016) : Internationaler Vergleich der rechtlichen Regelungen im nichtionisierenden Bereich, Band 1: Ländervergleich der Regelungen für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (0 Hz – 300 GHz), Bundesamt für Strahlenschutz (éd.), BfS-RESFOR-109/16-Bd 1
urn:nbn:de:0221-2016021914007: https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2016021914007/3/BfS_2016_3614S80010_Bd1.pdf
- ¹⁶ Téléphonie mobile : guide à l'intention des communes et des villes, [OFEV](#) / OFCOM / ARE 2010, chap. 3.3–3.5
- ¹⁷ Recommandations téléphonie mobile de la DTAP du 7 mars 2013
- ¹⁸ <http://www.3gpp.org/release-15>
- ¹⁹ Les exigences applicables à la 5G ne peuvent pas être toutes remplies de la même manière ou bénéficier en même temps à une application, une optimisation dans une direction se fait toujours aux dépens de la performance dans une autre direction.
- ²⁰ Pas atteignable avec les fréquences actuellement disponibles (au-dessous de 6 GHz)
- ²¹ <https://asut.ch/asut/fr/page/publications.xhtml#studien>
- ²² On distingue entre les bandes de basses (<1 GHz) et moyennes fréquences (1-6 GHz), d'une part, et les bandes de hautes fréquences (ondes millimétriques, >24 GHz), d'autre part.
- ²³ <https://5gobservatory.eu>
- ²⁴ MIMO : Multiple Input – Multiple Output (source : [EMF-Portal](#))
- ²⁵ Source : [EMF-Portal](#)

²⁶ Thors B., Furuskär A., Colombi D. and Törnevik C. : Time-averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations using Massive MIMO, <http://ieeexplore.ieee.org/document/8039290> ; Baracca P., Weber A., Wild T. and Grangeat C. : A Statistical Approach for RF Exposure 2898 Compliance Boundary Assessment in Massive MIMO Systems, WSA 2018, 2899 <https://arxiv.org/abs/1801.08351>

²⁷ Cf. Table 15, Case studies supporting IEC 62232 – Determination of RF field strength and SAR in the vicinity of radio-communication base stations for the purpose of evaluating human exposure, IEC TR 62669 ED2 2018.

²⁸ Office fédéral de la communication (OFCOM) : Les services téléphoniques sur réseaux mobiles (du 4 février 2019)

²⁹ Ericsson Mobility Report, [November 2018](#)

³⁰ Veuillez également consulter : <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2016/06/GSMA-5G-Spectrum-PPP.pdf> ou <http://www.microwavejournal.com/articles/29428-telecoms-industry-obsesses-with-mmwave-but-35-ghz-will-be-the-killer-5g-band>

³¹ L’attribution des parts spectrales pour le FRMCS est actuellement dans une phase d’harmonisation au niveau européen.

³² <https://map.geo.admin.ch> et <http://www.geostat.admin.ch>; fichier pour les habitants : STATPOP2017G.csv ; fichier pour les lieux de travail : STATENT2016_No8_V180828G.csv ; fichier pour les bâtiments : GWS2017G.csv

³³ La valeur de 80 MHz a été choisie parce qu’un des trois opérateurs n’a postulé que pour 80 MHz lors de l’adjudication.

³⁴ Wan L., Guo Z., Wu Y., Bi W., Yuan J., Elkashlan M., and Hanzo L. : 4G/5G Spectrum Sharing Efficient 5G Deployment to Serve Enhanced Mobile Broadband and Internet of Things Applications ; IEEE vehicular technology magazine, décembre 2018.

³⁵ Schumacher A., Merz R. und Burg A. : 3.5 GHz Coverage Assessment with a 5G Testbed, accepted for publication in VTC 2019-Spring in Kuala Lumpur, Malaysia.

³⁶ « [Concept pour une surveillance nationale des champs électromagnétiques](#) », Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat Gilli 09.3488 « Surveillance des champs électromagnétiques » du 18 décembre 2015.

³⁷ Cf. chap. 2.3, « [Concept pour une surveillance nationale des champs électromagnétiques](#) », Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat Gilli 09.3488 « Surveillance des champs électromagnétiques » du 18 décembre 2015.

³⁸ Röösli M., Struchen B., Eeftens M. et al. (2016) : Persönliche Messungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bei einer Bevölkerungsstichprobe im Kanton Zürich 2016 (en allemand) http://www.awel.zh.ch/conten/dam/baudirektion/awel/luft_asbest_elektrosmog/elektrosmog/dokumente/PersMeas_AWEL_2016.pdf ; Röösli M., Lagorio S., Schoemaker M.J. et al. (2019) : Brain and salivary gland tumours and mobile phone use: evaluating the evidence from various epidemiological study designs. *Annual Review of Public Health* 40 (en anglais, à paraître).

³⁹ Gajsek P., Ravazzani P., Wiart J. et al. (2015) : Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz–6 GHz). *J Expo Sci Environ Epidemiol* 25(1) : 37–44 (en anglais) ; Roser K., Schoeni A., Foerster M. et al. (2018) : Wie wirkt die Nutzung und die strahlung von mobiltelefonen auf jugendliche? *Primary and Hospital Care – Allgemeine Innere Medizin* 18(21) : 386–388 (en allemand) ; Betzalel N., Ben Ishai P., Feldmann Y. (2018) : The human skin as a sub-THz receiver – Does 5G pose a danger to it or not? *Environmental Research* 163 : 208–216 (en anglais) ; Eeftens M., Struchen B., Birks L.E. et al. (2018) : Personal exposure to radio-frequency electromagnetic fields in Europe: Is there a generation gap? *Environ Int* 121(Pt 1) : 216–226 (en anglais) ; Sagar S., Dongus S., Schoeni A. et al. (2018b) : Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: A systematic literature review. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 28(2) : 147–160 (en anglais) ; Zeleke B.M., Brzozek C., Bhatt C.R. et al. (2018) : Personal Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields among Australian Adults. *Int J Environ Res Public Health* 15(10) (en anglais).

⁴⁰ Blas J., Lago F.A., Fernandez P. et al. (2007) : Potential exposure assessment errors associated with body-worn RF dosimeters. *Bioelectromagnetics* 28(7) : 573–576 (en anglais) ; Knafl U., Lehmann H., Riederer M. (2008) : Electromagnetic field measurements using personal exposimeters. *Bioelectromagnetics* 29(2) : 160–162 (en anglais) ; Neubauer G., Cecil S., Giczi W. et al. (2010) : The association between exposure determined by radiofrequency personal exposimeters and human exposure: a simulation study. *Bioelectromagnetics* 31(7) : 535–545 (en anglais) ; Bolte J.F., van der Zande G., Kamer J. (2011) : Calibration and uncertainties in personal exposure measurements of radiofrequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 32(8) : 652–663 (en anglais) ; Choi J., Hwang J.H., Lim H. et al. (2018) : Assessment of radiofrequency electromagnetic field exposure from personal measurements considering the body shadowing effect in Korean children and parents. *Science of the Total Environment* 627 : 1544–1551 (en anglais).

- ⁴¹ Urbinello D., Röösli M. (2013) : Impact of one's own mobile phone in stand-by mode on personal radiofrequency electromagnetic field exposure. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 23(5) : 545–548 (en anglais).
- ⁴² Tiré de Röösli M., Struchen B., Eeftens M. et al. (2016) : Persönliche Messungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bei einer Bevölkerungsstichprobe im Kanton Zürich 2016 (en allemand). http://www.awel.zh.ch/content/dam/baudirektion/awel/luft_asbest_elektrosmog/dokumente/PersMeas_AWEL_2016.pdf
- ⁴³ Röösli M., Struchen B., Eeftens M. et al. (2016) : Persönliche Messungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bei einer Bevölkerungsstichprobe im Kanton Zürich (en allemand). http://www.awel.zh.ch/content/dam/baudirektion/awel/luft_asbest_elektrosmog/dokumente/PersMeas_AWEL_2016.pdf
- ⁴⁴ Röösli M., Struchen B., Eeftens M. et al. (2016) : Persönliche Messungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bei einer Bevölkerungsstichprobe im Kanton Zürich (en allemand). http://www.awel.zh.ch/content/dam/baudirektion/awel/luft_asbest_elektrosmog/dokumente/PersMeas_AWEL_2016.pdf
- ⁴⁵ Röösli M., Foerster M., Roser K. et al. (2015) : Stichprobenkonzept für Messungen der nicht-ionisierenden Strahlung mit Exposimetern, Berne, http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/0117/index.html?lang=de#sprungmarkeo_6o (en allemand) ; Sagar S., Struchen B., Finta V. et al. (2016) : Use of portable exposimeters to monitor radiofrequency electromagnetic field exposure in the everyday environment. *Environ Res* 150: 289–298 (en anglais).
- ⁴⁶ Urbinello D., Joseph W., Huss A. et al. (2014) : Radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure levels in different European outdoor urban environments in comparison with regulatory limits. *Environ Int* 68C : 49–54 (en anglais) ; Gajsek P., Ravazzani P., Wiart J. et al. (2015) : Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz–6 GHz). *J Expo Sci Environ Epidemiol* 25(1) : 37–44 (en anglais) ; Thielens A., Agneessens S., De Clercq H. et al. (2015) : On-body calibration and measurements using a personal, distributed exposimeter for wireless fidelity. *Health Phys* 108(4) : 407–418 (en anglais) ; Gonzalez-Rubio J., Najera A., Arribas E. (2016) : Comprehensive personal RF-EMF exposure map and its potential use in epidemiological studies. *Environ Res* 149: 105–112 (en anglais) ; Sagar S., Dongus S., Schoeni A. et al. (2018b) : Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: A systematic literature review. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 28(2) : 147–160 (en anglais).
- ⁴⁷ Sagar S., Adem S.M., Struchen B. et al. (2018a) : Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context. *Environ Int* 114 : 297–306 (en anglais).
- ⁴⁸ Röösli M., Struchen B., Eeftens M. et al. (2016) : Persönliche Messungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bei einer Bevölkerungsstichprobe im Kanton Zürich (en allemand). http://www.awel.zh.ch/content/dam/baudirektion/awel/luft_asbest_elektrosmog/dokumente/PersMeas_AWEL_2016.pdf
- ⁴⁹ Frei P., Mohler E., Neubauer G. et al. (2009) : Temporal and spatial variability of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields. *Environ Res* 109(6): 779–785 (en anglais).
- ⁵⁰ Röösli M., Lagorio S., Schoemaker M.J. et al. (2019) : Brain and salivary gland tumours and mobile phone use: evaluating the evidence from various epidemiological study designs. *Annual Review of Public Health* 40 (en anglais, à paraître).
- ⁵¹ Liu D., Li C.S., Kang Y.Y., et al. (2017) : Numerical analysis for infant's unintentional exposure to 3.5 GHz plane wave radiofrequency electromagnetic fields by field test of fifth generation wireless technologies. *Radio Science* 52(9) : 1140-1148 (en anglais).
- ⁵² Thors B., Furuskär A., Colombi D. et al. (2017) : Time-Averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations Using Massive MIMO. *Ieee Access* 5 : 19711–19719 (en anglais).
- ⁵³ Baracca P., Weber A., T. Wild T. et al. (2018) : A Statistical Approach for RF Exposure 2898 Compliance Boundary Assessment in Massive MIMO Systems. *WSA* 2899 (en anglais).
- ⁵⁴ Les courants électriques circulant dans l'électronique et dans la batterie d'un téléphone mobile génèrent des rayonnements de téléphonie mobile de haute fréquence, mais aussi des champs électriques de basse fréquence et des champs magnétiques qui pénètrent potentiellement dans la tête ou la main de l'usager concerné (voir la [Fiche d'information – Téléphones mobiles et smartphones](#) de l'Office fédéral de la santé publique [OFSP] de 2016). Comme la problématique est ici la conception d'un réseau minimisant les immissions, l'accent est mis par la suite sur les hautes fréquences.
- ⁵⁵ [Fiche d'information – Téléphones mobiles et smartphones](#), Office fédéral de la santé publique (OFSP), 2016.
- ⁵⁶ Gajsek P., Ravazzani P., Wiart J. et al. (2015) : Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz–6 GHz). *J Expo Sci Environ Epidemiol* 25(1) : 37–44 (en anglais) ; Vrijheid M., Mann S., Vecchia P. et al.

- (2009) : Determinants of mobile phone output power in a multinational study: implications for exposure assessment. *Occup Environ Med* 66(10) : 664–671 (en anglais) ; Persson T., Tornevik C., Larsson L.E. et al. (2012) : Output power distributions of terminals in a 3G mobile communication network. *Bioelectromagnetics* 33(4) : 320–325 (en anglais).
- ⁵⁷ Persson T., Tornevik C., Larsson L.E. et al. (2012) : Output power distributions of terminals in a 3G mobile communication network. *Bioelectromagnetics* 33(4) : 320–325 (en anglais).
- ⁵⁸ Kühn S., Kuster N. (2013) : Field Evaluation of the Human Exposure From Multiband, Multisystem Mobile Phones. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 55(2) : 275–287 (en anglais).
- ⁵⁹ Paramananda J., Colombi D., Thors B. et al. (2017) : Output Power Levels of 4G User Equipment and Implications on Realistic RF EMF Exposure Assessments. *IEEE Access* 5 : 4545–4550 (en anglais).
- ⁶⁰ Popovic M., Koprivica M., Milinkovic J. et al. (2019) : Experimental analysis of individual EMF exposure for GSM/UMTS/WLAN user devices. *Annals of Telecommunications* 74(1-2) : 79–91 (en anglais).
- ⁶¹ Huang Y., Wiart J. (2017) : Simplified Assessment Method for Population RF Exposure Induced by a 4G Network. *IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology* 1(1) : 34–40 (en anglais).
- ⁶² Voir notamment CENELEC (2017) : Product Standard to Demonstrate the Compliance of Wireless Communication Devices With the Basic Restrictions and Exposure Limit Values Related to Human Exposure to Electromagnetic Fields in the Frequency Range From 30 MHz to 6 GHz: Hand-Held and Body Mounted devices in close proximity to the human body. EN 50566 (en anglais).
- ⁶³ CEI (2018) : Measurement Procedure for the Evaluation of Power Density Related to Human Exposure to Radio Frequency Fields From Wireless Communication Devices Operating Between 6 GHz and 100 GHz. TR 63170, 1^{re} édition (en anglais).
- ⁶⁴ He Q., Zong L., Sun Y. et al. (2017) : Adaptive response in mouse bone marrow stromal cells exposed to 900 MHz radiofrequency fields: Impact of poly (ADP-ribose) polymerase (PARP). *Mutat Res* 820 : 19–25 (en anglais).
- ⁶⁵ Neufeld E., Carrasco E., Murbach M. et al. (2018) : Theoretical and numerical assessment of maximally allowable power-density averaging area for conservative electromagnetic exposure assessment above 6 GHz. *Bioelectromagnetics* 39(8) : 617–630 (en anglais).
- ⁶⁶ Betzalel N., Ben Ishai P., Feldmann Y. (2018) : The human skin as a sub-THz receiver – Does 5G pose a danger to it or not? *Environmental Research* 163 : 208–216 (en anglais).
- ⁶⁷ Lauer O., Frei P., Gosselin M.C. et al. (2013) : Combining near- and far-field exposure for an organ-specific and whole-body RF-EMF proxy for epidemiological research: A reference case. *Bioelectromagnetics* 34(5) : 366–374 (en anglais).
- ⁶⁸ Frei P., Mohler E., Neubauer G. et al. (2009) : Temporal and spatial variability of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields. *Environ Res* 109(6) : 779–785 (en anglais).
- ⁶⁹ Lauer O., Frei P., Gosselin M.C. et al. (2013) : Combining near- and far-field exposure for an organ-specific and whole-body RF-EMF proxy for epidemiological research: A reference case. *Bioelectromagnetics* 34(5) : 366–374 (en anglais).
- ⁷⁰ Roser K., Schoeni A., Bürgi A. et al. (2015) : Development of an RF-EMF Exposure Surrogate for Epidemiologic Research. *Int J Environ Res Public Health* 12(5) : 5634–5656 (en anglais).
- ⁷¹ GERoNiMO (Generalised EMF Research using Novel Methods) : <https://www.isglobal.org/en/-/geronimo-generalized-emf-research-using-novel-methods-an-integrated-approach-from-research-to-risk-assessment-and-support-to-risk-management> (en anglais)
- ⁷² Immissionen von kleinzelligen und grosszelligen Basisstationsnetzen (en allemand), Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation (FSM), mai 2018 / update
- ⁷³ Rapport technique sur les déploiements pilotes de petites antennes en France (pour favoriser l'accès au très haut débit mobile), ANFR (2018)
- ⁷⁴ Fiche d'information de Cercl'Air sur la 5G « Avenir de la téléphonie mobile : quelles répercussions pour les autorités ? » (état juin 2018)
- ⁷⁵ ETSI TS 136 213 V15.6.0 (2019-07) : « LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (3GPP TS 36.213 version 15.6.0 Release 15) » (en anglais)

⁷⁶ Cisco Internet Business Systems Group, Stuart Taylor et Andy Young (2012) : « The New World of SP Wi-Fi: Cisco IBSG Research Uncovers What U.S. Consumers Want from Wi-Fi and Mobile »

⁷⁷ Exposé de J. Leuthold, professeur à l'EPF de Zurich, lors du [Science Brunch du 6 décembre 2018](#) (en allemand)

⁷⁸ Kuehn S., Pfeifer S., Kochal B., Kuster N. (2019) : « Modelling of Total Exposure in 5G Networks for Varied Topologies and User Scenarios » (en anglais)

⁷⁹ BUWAL (1998) : Nichtionisierende Strahlung – Begrenzung der Immissionen von nichtionisierender Strahlung. Cahier de l'environnement n° 302, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.

⁸⁰ Hug K., Achermann P., Dürrenberger G. et al. (2014) : Beurteilung der Evidenz für biologische Effekte schwacher Hochfrequenzstrahlung. Berne, rapport établi à la demande de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/externe-studien-berichte/beurteilung_der_evidenzfuerbiologischeeffekteschwacherhochfrequenz.pdf

⁸¹ Réseaux de téléphonie mobile adaptés aux exigences futures – Rapport du Conseil fédéral en réponse aux postulats Noser 12.3580 et Groupe libéral-radical 14.3149, février 2015. <https://www.bakom.admin.ch/bakom/fr/page-d'accueil/l-ofcom/organisation/bases-legales/dossiers-du-conseil-federal/reseaux-de-telephonie-mobile-adaptes-aux-exigences-du-futur.html>

⁸² Une revue Cochrane est une revue systématique résumant les conclusions des travaux de recherche portant sur la prise en charge médicale et la politique de la santé. Cochrane est un réseau indépendant et d'envergure mondiale composé de scientifiques, de médecins, de praticiens paramédicaux et de patients.

⁸³ CSRSEN (2015) : Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux.

⁸⁴ Independent Expert Group on Electromagnetic Fields (Danker-Hopfe H., Dasenbrock C., Huss A., Klaeboe L., Mjönes L., Moberg, L., Röösli M., Scarfi, M.R., van Deventer E., van Rongen E.) 2018. Recent Research on EMF and Health Risk - Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, ISSN : 2000-0456. Swedish Radiation Safety Authority. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/publications/reports/radiation-protection/2018/201809/>

Independent Expert Group on Electromagnetic Fields (Danker-Hopfe H., Dasenbrock C., Huss A., Klaeboe L., Mjönes L., Moberg, L., Röösli M., Scarfi, M.R., van Deventer E., van Rongen E.) 2016. Recent Research on EMF and Health Risk - Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, ISSN : 2000-0456. Swedish Radiation Safety Authority. <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/>

Independent Expert Group on Electromagnetic Fields (Danker-Hopfe H., Dasenbrock C., Huss A., Klaeboe L., Mjönes L., Moberg, L., Röösli M., Scarfi, M.R., van Deventer E., van Rongen E.) 2015. Recent Research on EMF and Health Risk - Tenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, ISSN : 2000-0456. Swedish Radiation Safety Authority. <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/>

⁸⁵ ARPANSA (2014) : Review of Radiofrequency Health Effects Research – Scientific Literature 2000-2012. Report by the ARPANSA Radiofrequency Expert Panel. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. Technical Report 164.

⁸⁶ Anses (2016) : Exposition aux radiofréquences et santé des enfants. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Anses (2018) : Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

⁸⁷ ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (2018) : Draft – ICNIRP Guidelines: GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (100 kHz TO 300 GHz): Appendix B: Health Risk Assessment Literature <https://www.icnirp.org/en/publications/index.html>.

⁸⁸ Le rapport n'est pas encore publié.

⁸⁹ Anses (2016) : *Exposition aux radiofréquences et santé des enfants*. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

⁹⁰ Anses (2018) : Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

⁹¹ Anses (2018) : Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

⁹² L'effet nocebo désigne l'effet pathogène qui se produit du fait des attentes du patient. Il s'agit de l'antithèse de l'effet placebo.

⁹³ Sudan M., Birks L. E., Aurrekoetxea J. J., et al. 2018 : Maternal cell phone use during pregnancy and child cognition at age 5 years in 3 birth cohorts. Environ Int 120 : 155-162.

⁹⁴ Commission fédérale des monuments historiques CFMH, [document de base](#) du 22 juin 2018

⁹⁵ Les zones en question peuvent être consultées à l'adresse <https://www.geo.admin.ch>.

⁹⁶ [Recommandations de la DTAP concernant l'autorisation d'installations de téléphonie mobile](#) du 7 mars 2013

⁹⁷ « Stärkung des Vollzugs im Umweltbereich » (document uniquement disponible en allemand), Interface Politikstudien Forschung Beratung, 2013 : https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/recht/externe-studien-be-richte/staerkung_des_vollzugsumweltbereich.pdf

⁹⁸ <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/recht/externe-studien-berichte/erfolgsfaktoren-vollzug.pdf>

⁹⁹ DTAP communiqué de presse de l'assemblée générale 2019 https://www.dtap.ch/index.php?elD=tx_securedownload&p=210&u=o&g=o&t=1572019121&hash=b4c08b2fc99a5337645fa7fafe1ca44fe1210fb&file=fileadmin/Dokumente/bpuk/public/fr/dokumentation/medienmitteilungen/2019/DTAP_communique_de_presse_de_l_assemblee_generale_2019.pdf

¹⁰⁰ [Communiqué de presse du 20 septembre 2018](#)

¹⁰¹ Thors B., Furuskär A., Colombi D. and Törnevik C.: Time-averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations using Massive MIMO, <http://ieeexplore.ieee.org/document/8039290>; Baracca P., Weber A., Wild T. and Grangeat C.: A Statistical Approach for RF Exposure 2898 Compliance Boundary Assessment in Massive MIMO Systems, WSA 2018, 2899 <https://arxiv.org/abs/1801.08351>

¹⁰² ITU (2018). Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges. International Telecommunication Union: https://www.itu.int/en/ITU-D/Documents/ITU_5G_REPORT-2018.pdf

¹⁰³ <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20093488>

¹⁰⁴ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/electrosmog/communiques.msg-id-60064.html>

¹⁰⁵ « [Concept pour une surveillance nationale des champs électriques](#) », rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat Gilli 09.3488 « Surveillance des champs électromagnétiques » du 18 décembre 2015

¹⁰⁶ http://geoportal.ibgebim.be/webgis/antenne_emettrice_gsm.phtml?langtype=2060).

¹⁰⁷ Dongus S., Röösli M. (2019) : Étude de faisabilité d'un monitoring des effets potentiels sur la santé lié au NIS. Juin 2019. Rapport commandé par l'Office fédéral de l'environnement, avec le soutien des Médecins en faveur de l'environnement. Institut tropical et de santé publique suisse, Bâle.

¹⁰⁸ Doc. E. Steiner dans [Oekoskop 3/18](#), pp. 7 ss.

