



CONSIDÉRATIONS SANITAIRES LIÉES AU DÉPLOIEMENT DE LA 5G EN ÎLE-DE-FRANCE

Le déploiement de la technologie de télécommunication de cinquième génération ou « 5G » encouragé par les pouvoirs publics et initié en France à partir de 2020, a pour finalité d'offrir aux particuliers comme aux entreprises de nouveaux services et infrastructures innovants dans de multiples domaines. Ainsi, la 5G se démarque des précédentes générations de télécommunication du fait qu'elle combine des évolutions techniques et des évolutions d'usages.

L'avènement de cette nouvelle technologie interroge non seulement sur les potentielles conséquences directes en matière d'exposition aux champs électromagnétiques et d'effets sanitaires associés mais aussi sur les conséquences moins directes liées à la multiplication des usages ainsi que celles des flux d'énergies et de matières supplémentaires que cela implique. D'une manière générale, cela interroge sur la place du numérique dans notre société. Ce Focus Santé aborde ces différents sujets en reprenant les éléments de diverses expertises et en premier lieu celle de l'Anses publiée au début de cette année [1].

Auteurs : Sabine Host, Célia Colombier
Directrice de publication : Isabelle Grémy

SOMMAIRE

- 2 Introduction
- 3 Comprendre la 5G
- 7 Risques sanitaires des ondes liées au déploiement de la 5G
- 12 Des effets sanitaires indirects liés aux nouveaux usages
- 16 Minimiser les effets négatifs et maximiser les effets positifs
- 21 Conclusion
- 22 Références

Introduction

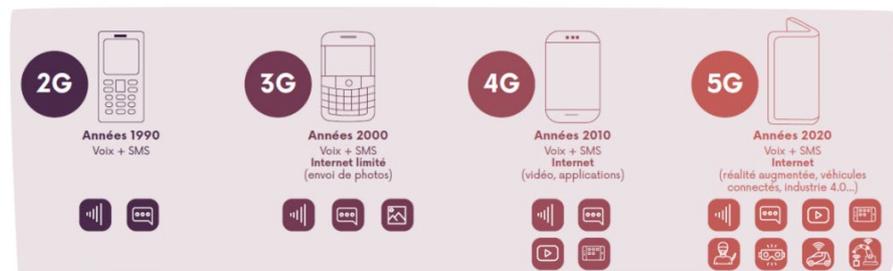
Encouragé par les pouvoirs publics, le déploiement de la 5G devrait permettre la mise en œuvre progressive de nouveaux services et infrastructures innovantes – qui ne peuvent d’ailleurs pas tous être anticipés – à la fois pour les particuliers, les collectivités et surtout pour les entreprises dans de multiples domaines (voir Fig. 1). Cela favorisera la numérisation de la société et le développement de nouveaux usages tels que la réalité virtuelle, les transports et villes intelligentes, l’industrie du futur, le pilotage des « smart grids » dans le domaine de l’énergie, la télémédecine, l’éducation en ligne...

A côté des fréquences proches de celles déjà utilisées par les précédentes générations de téléphonie mobile (entre 70 – 2 100 MHz), la 5G utilise désormais la bande 3,5 GHz. Une nouvelle bande de fréquence (bande 26 GHz) sera exploitée d’ici quelques années pour compléter le réseau et permettre de nouveaux usages tels que la communication entre objets connectés.

La 5G n’est pas une technologie mobile comme les autres (2G, 3G, 4G), elle combine des évolutions techniques et des évolutions d’usages. Ces évolutions sont présentées dans les discours des promoteurs de la 5G comme des avancées sur les plans technique, économique et sociétal. Toutefois, il ressort du débat public de multiples sources de préoccupation notamment sur les plans sanitaire, environnemental, économique ou encore politique [2].

En effet, en premier lieu, la 5G constitue une source de risques éventuels liée aux propriétés intrinsèques du système technique. La controverse sur la 5G s’inscrit ainsi dans une dimension plus globale autour des champs électromagnétiques. Toutefois, à la question des risques sanitaires s’ajoute la nécessité de réduction de l’empreinte environnementale du numérique. De plus, le déploiement de la 5G questionne le processus de prise de décision (manque de consultation citoyenne, absence d’évaluation des risques). Elle se heurte aussi parfois à un manque d’adhésion de la société autour de laquelle est faite la promotion de la 5G (nouveaux usages, efficacité énergétique) et donne une dimension politique à cette controverse, avec un choix imposé concernant le déploiement de cette nouvelle technologie qui est présentée comme une étape vers un programme plus vaste de numérisation généralisée de la société (voir encadré 1). C’est donc un type de société qui est en cause : la société du tout numérique et du tout connecté avec ses implications en matière de saturation des espaces de vie par un cumul d’expositions aux champs électromagnétiques, de consommations accrues d’énergie et de ressources du fait de la multiplication des usages [1]... qui peuvent avoir des conséquences directes et indirectes sur la santé. Ainsi, ce focus propose un éclairage sur ces diverses questions et leurs implications en matière de santé publique en se basant sur les nombreux travaux et rapports d’expertise existants.

Fig. 1 : Évolution des télécommunications et développement des usages



Source : Arcep

Comprendre la 5G

Les grandes étapes de la 5G

L'appréhension de la 5G est complexe du fait qu'il ne s'agit pas d'une technique mais plutôt d'un ensemble de technologies déployées selon une « feuille de route » en plusieurs étapes évolutives :

Étape 1 : Enhanced Mobile Broadband (eMBB)

A l'heure actuelle, la 5G s'apparente à une 4G améliorée. Le réseau est dédié à l'usage des smartphones avec une amélioration des débits et des capacités. Le nombre possible de connexions simultanées est augmenté, répondant aux problèmes de saturation des réseaux mobiles en zone dense, et les temps de réponses sont réduits.

Étape 2 : la 5G standalone

Dans un deuxième temps, la 5G existera indépendamment des réseaux qui l'ont précédée. Ce n'est qu'à partir de là qu'intervient la rupture technologique apportant une latence très réduite et une interactivité quasi immédiate. La 5G rendra possible le « très haut débit mobile » approchant les performances de la fibre en mode nomade (autour de 2 Gb/s), par rapport à la 4G, ces performances sont dix fois supérieures.

Étape 3 : l'internet des objets (Massive Machine Type Communications ou mMTC)

Cette étape se traduira par l'intégration à grande échelle de puces 5G dans l'Internet des Objets Industriels (IIoT = Industrial Internet of Things). On parle alors de massive IoT qui consiste à pouvoir gérer les communications d'un très grand nombre de terminaux avec une même antenne. Cette étape s'appuiera in fine sur des technologies plus avancées telles que le très faible temps de latence ou uRLLC (Ultra Low Reliable Low Latency Communication), inférieur à la milliseconde (contre 25 à 40 ms pour la 4G). Cela favorisera toutes les applications nécessitant une réactivité extrêmement importante ainsi qu'une garantie très forte de transmission du message : *smart cities* (villes intelligentes), automatisations industrielles, voitures autonomes...

Encadré 1 : Plans France mobile (New deal mobile) et France très Haut Débit [3]

La politique numérique française a pour objectif la résorption de la fracture numérique. On parle de fracture numérique pour qualifier les inégalités en matière d'équipement et d'usage des outils numériques, les facteurs principaux étant en premier lieu l'âge, viennent ensuite le revenu des ménages et le niveau de diplôme.

Pour ce faire, deux programmes existent : les plans France très haut débit et France Mobile.

Le premier, lancé en 2013, avait pour ambition l'accès de tous les Français à un haut débit fixe de bonne qualité d'ici la fin 2020 et à un très haut débit fixe d'ici la fin 2022 à laquelle s'est ajouté l'objectif de généraliser la fibre optique à horizon 2025. Le plan France très haut débit accompagne les collectivités locales situées sur les territoires les moins densément peuplés dans leur projet d'aménagement numérique.

Quant à la stratégie France Mobile, elle consiste à mettre en application l'accord conclu en 2018 entre le Gouvernement, les opérateurs mobiles et l'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse (Arcep) appelé « New Deal Mobile ». Il s'agit d'un engagement de la part des opérateurs mobiles à améliorer globalement et de manière ciblée la couverture mobile des territoires en France métropolitaine sans considérer uniquement des objectifs de rentabilité. Ainsi, 5 000 nouvelles zones devraient être équipées afin de fournir une couverture en voix, SMS et 4G. Conjointement, l'accord prévoit une généralisation de la 4G sur l'ensemble du territoire, l'amélioration de la couverture des axes de transports et de l'intérieur des bâtiments, le développement de la 4G fixe et des exigences de transparence accrues de la part des opérateurs mobiles.

Panorama des technologies innovantes

Ces étapes sont jalonnées d'évolutions techniques pouvant avoir une incidence en matière d'exposition des personnes. Parmi elles, les technologies suivantes peuvent être mentionnées :

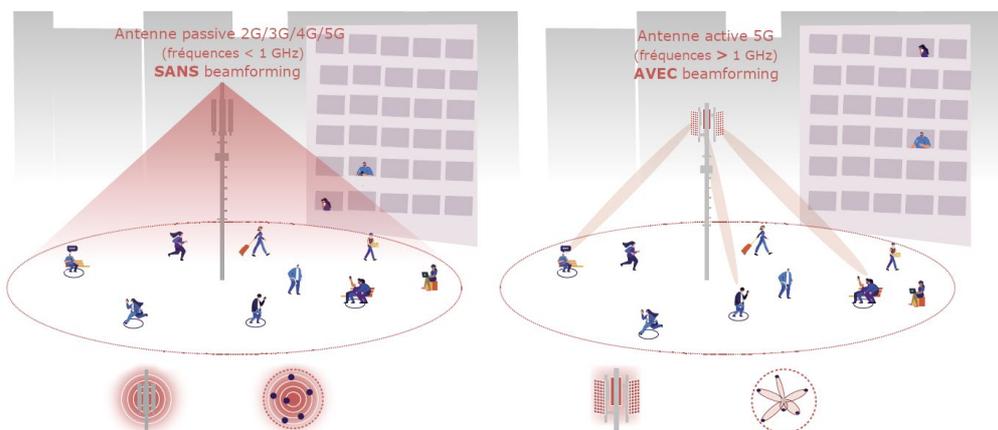
- Les antennes « *Massive MIMO* » (mMIMO) et « *Beamforming* » : cette technologie repose sur des antennes composées de multiples éléments rayonnants (jusqu'à 256) capables d'optimiser l'émission des ondes en focalisant l'énergie de ces micro-antennes orientables vers un utilisateur grâce à un ciblage par « faisceaux » optimisé (voir Fig. 2).

Le ciblage par faisceaux va conduire à des profils d'exposition spécifiques encore jamais rencontrés

Alors que les antennes de la génération antérieure émettent en permanence dans un rayon fixe, cette évolution technologique conduit à des profils d'exposition des personnes radicalement différents. Les conséquences attendues sont un niveau d'exposition moindre en dehors des faisceaux mais plus important dans le faisceau et une durée d'exposition plus faible. Il en résulte également une plus grande efficacité énergétique car lorsqu'elles ne sont pas sollicitées, ces micro-antennes entrent en veille.

- Le « *Network slicing* » : à chaque usage correspond une « enveloppe » de performances appropriées. Les réseaux 5G seront configurés en tranches pour permettre une connectivité qui s'adapte aux besoins du moment. Grâce à la capacité à répartir en temps réel les fréquences disponibles, la priorité sera donnée soit à la rapidité de réponse, soit au volume de données échangées. Cette fonctionnalité représente potentiellement l'évolution la plus innovante de la 5G. Concrètement, cela permettra d'éviter que des usages de données massifs ne viennent détériorer la qualité globale de service. Par exemple, des ressources du réseau pourront être allouées prioritairement à des services de secours en cas de nécessité. Cette configuration permettra surtout l'exploitation de réseaux privés, ce qui ouvrira un large champ d'applications pour l'industrie.
- Les « ondes millimétriques » : cette nouvelle bande de fréquence (bande 26 GHz) est réservée aux lieux requérant des performances exceptionnelles de vitesse et de temps de réponse et d'une très grande fiabilité. La propagation de ces ondes étant aisément perturbées par les obstacles, leur diffusion serait assurée par un réseau de petites antennes appelées « *small cells* ».

Fig. 2 : Principes des antennes actives avec beamforming (technologie 5G) comparé à celui des antennes passives



Source : Arcep

Un déploiement progressif sur les différentes bandes de fréquences

En France, il est prévu que la 5G se déploie sur plusieurs bandes de fréquences : celles déjà utilisées pour les réseaux actuels 2G/3G et 4G (dites "bandes basses") et deux nouvelles bandes jusque-là non attribuées aux réseaux mobiles, celle de 3,5 GHz et celle de 26 GHz (voir Fig. 3).

Ces bandes de fréquences ont été identifiées par l'Union européenne dès 2017, et leurs conditions d'utilisation harmonisées pour l'ensemble du continent européen. Le calendrier de déploiement, lui-même harmonisé, est fixé pour la France dans la feuille de route publiée en 2018 (voir Fig.4).

Elles possèdent des propriétés différentes et complémentaires (voir Tab. 1 et Fig. 5). Avec l'augmentation de la fréquence, la portée et la pénétration à travers les obstacles diminuent mais le débit augmente, ce qui permet d'offrir les performances mentionnées précédemment (ultra haut débit et très faible latence).

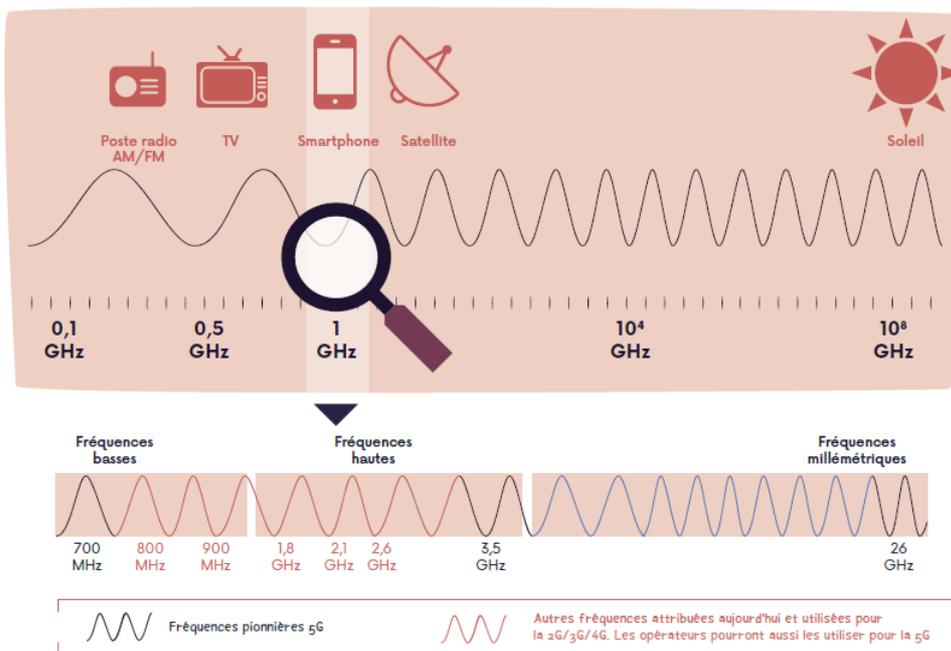
Une première étape dite « non standalone », qui permet un déploiement rapide et peu coûteux, repose sur les infrastructures 4G, de sorte que les fréquences associées, ici comprises entre 700 et 2 100 MHz, sont réaffectées (entièrement ou en partage) pour suivre le protocole de communication 5G. Les gains de débit par rapport à la 4G restent marginaux.

De nouveaux sites sont par ailleurs en cours d'implantation dans la bande 3,5 GHz, apportant un gain de débit mais surtout une désaturation du réseau. Viendra ensuite, seulement à partir de 2023, l'installation de nouvelles antennes en bande 26 GHz dans des zones bien identifiées (hot spots) (fréquences non attribuées à l'heure actuelle). Aujourd'hui, quatorze sites d'expérimentation ont été autorisés par l'Arcep sur une période de trois ans avec des premiers retours attendus en 2022. La figure 6 indique la progression de l'implantation des différents sites 5G en Île-de-France.

Tab. 1 : Caractéristiques des bandes de fréquences 5G

Bandes de fréquences	Pénétration à l'intérieur	Portée	Débit	Attribution aux opérateurs	Beam-forming
700 MHz	★★★★	★★★★	★	✓	✗
3,5 GHz	★★	★★★	★★★	✓	✓
26 GHz	★	★	★★★★	✗	✓

Fig. 3 : Fréquences attribuées à la téléphonie mobile



Source : Arcep

Fig. 4 : Feuille de route pour le déploiement de la 5G en France [4]

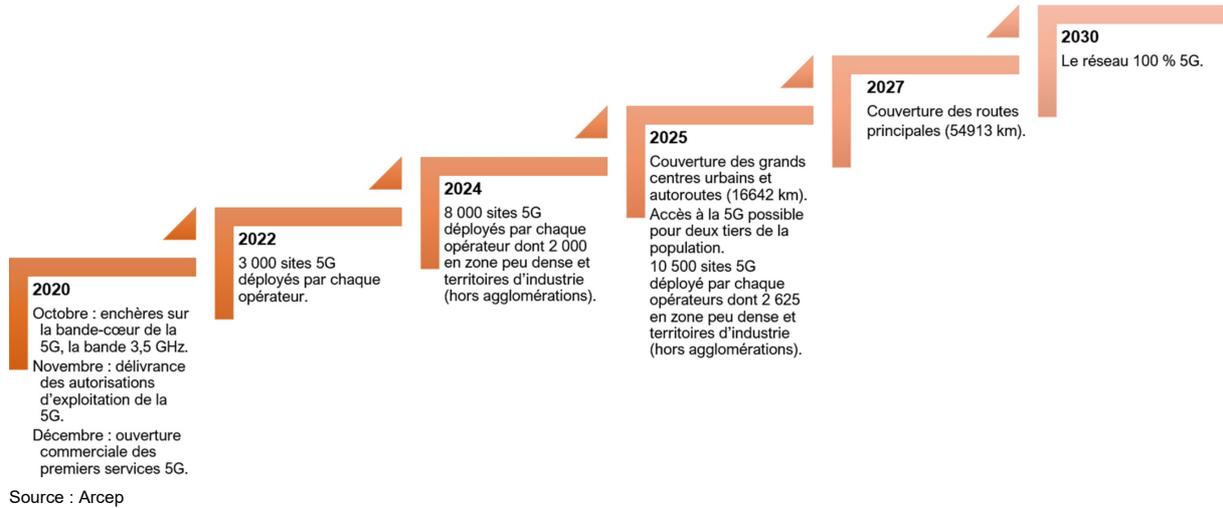
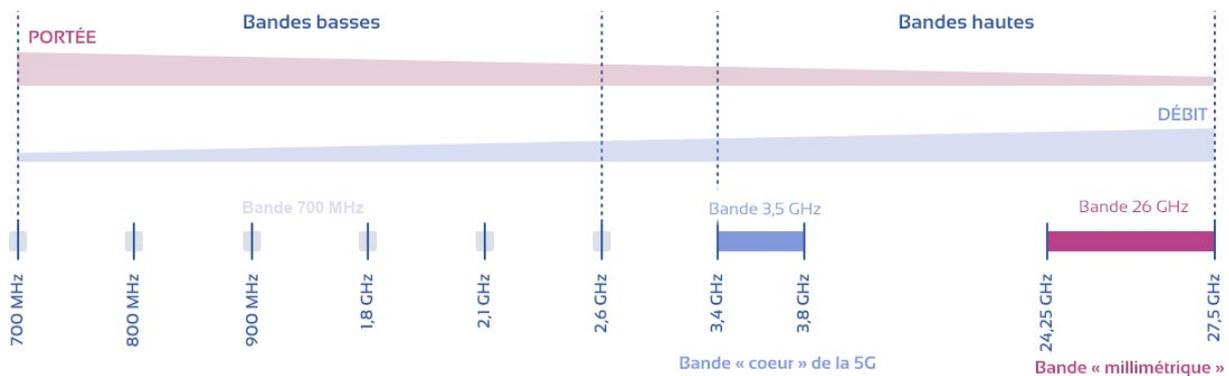
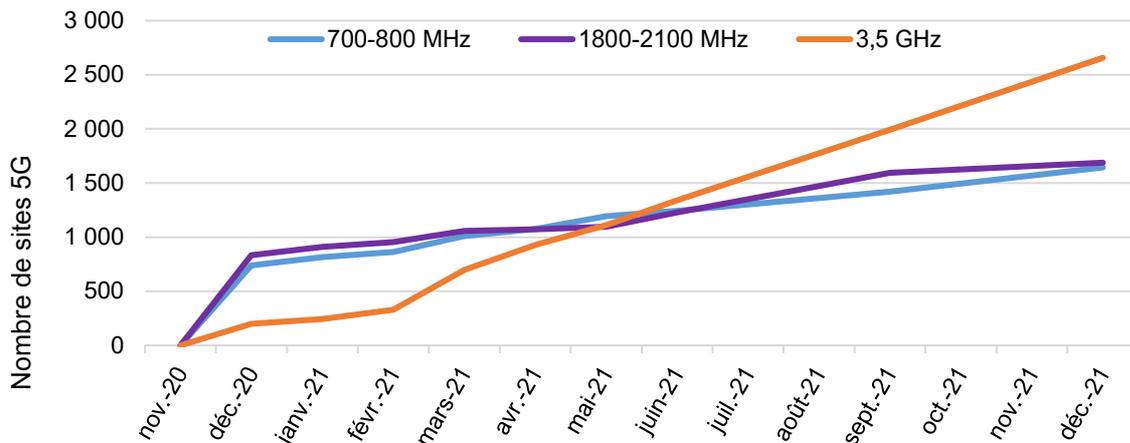


Fig. 5 : Caractéristiques des bandes de fréquence 5G, déploiement et usages



Source : ANFR

Fig. 6 : Évolution du nombre de sites 5G ouverts commercialement en Île-de-France par bandes de fréquence



Source : Arcep

Risques sanitaires des ondes électromagnétiques liés au déploiement de la 5G

Évaluer et surveiller les expositions

L'évaluation de l'exposition d'une personne aux radiofréquences repose sur l'estimation de la quantité d'énergie absorbée au final par l'organisme. Les méthodes pour évaluer cette exposition diffèrent si l'on considère des sources d'émission proches ou loin du corps [5].

Les éléments développés ci-après font essentiellement référence à la bande de fréquences inférieure à 6 GHz. Les données d'exposition dans la bande 26 GHz (24-60 GHz) en situation réelle ne sont pas disponibles mais il existe des données issues de simulations.

Mesures à distance des champs émis par les stations de base (les antennes)

Pour caractériser les expositions à distance de la source, sont utilisées des méthodes de modélisation ou de mesures des intensités des champs électrique ou magnétique. En pratique, il suffit de ne mesurer qu'une de ces grandeurs, généralement l'intensité du champ électrique, exprimée en volt/mètre (V/m).

L'Agence nationale des fréquences qui contrôle l'utilisation des fréquences radioélectriques (ANFR), surveille les niveaux d'exposition aux ondes générées par les antennes afin de s'assurer que les limites réglementaires (voir paragraphe ci-après) sont bien respectées. Elle réalise des enregistrements de ce champ en des points fixes particuliers, en extérieur ou à l'intérieur des bâtiments, dont les résultats sont publiés sur le site Cartoradio¹. Il s'agit, en premier lieu, de mesures de champ total réalisées à l'aide d'un exposimètre à très large bande, couvrant toute la gamme de fréquences où se situent les sources de rayonnement, de la radio FM à la 5G (par exemple entre 100 kHz et 10 GHz).

Avec l'arrivée de la 5G, une surveillance particulière a été mise en place afin de connaître son impact sur le champ total en fonction de son déploiement, mais surtout en fonction de l'évolution du nombre de téléphones mobiles connectés en 5G. Ainsi, un dispositif de mesure à l'aide de capteurs implantés en hauteur dans des lieux très fréquentés, placés à environ 100 m d'antennes 5G non encore activées, a été mis en place dans plusieurs villes, dont Paris.

Les premiers résultats des campagnes de mesures menées par l'ANFR sur différents sites 5G ne montrent pas de différence notable du niveau de champ

et se situent entre 0,76 et 1,5 V/m après mise en service de la 5G pour les bandes 700 MHz et 2 100 MHz.

Par ailleurs, des simulations numériques de la propagation en milieu urbain [6] ont été élaborées à partir d'hypothèses d'accroissement prévisible du trafic lié au développement dans un contexte où l'introduction de la 5G et son déploiement ont lieu en parallèle du développement ultime de la 4G. Comme évoqué, l'utilisation de réseaux mMIMO pour la 5G a pour conséquence une importante fluctuation spatiale et temporelle des signaux reçus en tout point de l'espace. Ainsi, ces simulations se basent sur des approches statistiques.

Mesures en situation de proximité aux sources (téléphones mobiles)

À proximité d'une source, telle que les appareils de téléphonie mobile, la situation est plus complexe et il faut alors évaluer directement la quantité d'énergie absorbée, en d'autres termes le débit d'absorption spécifique (DAS). Le DAS est mesuré sur l'ensemble du corps ou sur une partie (tête, tronc et membres) et s'exprime en watts par kilogramme (W/kg). Il peut être calculé grâce à des modélisations numériques tridimensionnelles pour toutes les combinaisons de phase des signaux alimentant les différentes antennes. Il s'agit d'évaluer la pire configuration, dont la valeur atteinte doit rester inférieure aux valeurs limites applicables (2 W/kg pour la tête et le tronc et 4 W/kg pour les membres). Il est aussi mesuré, à l'aide de mannequins, notamment dans le cadre de la vérification de la conformité des téléphones mobiles aux réglementations en vigueur.

Si la bande de fréquence influence l'exposition, les caractéristiques du téléphone et son éloignement du corps sont tout aussi déterminants

Il ressort de ces estimations qu'en matière d'exposition individuelle, en dehors de la bande de fréquences, d'autres paramètres tels que le modèle de téléphone, la distance d'utilisation à la tête, près du tronc ou des membres, le contrôle adaptatif de la puissance du téléphone, etc. sont aussi déterminants. Ces approches théoriques pourront être complétées par des mesures in-situ lorsque le réseau 5G sera pleinement opérationnel afin notamment d'évaluer la variation de l'exposition en fonction du type d'antenne et d'usage (voix ou échange de données).

¹ <https://www.cartoradio.fr/>

Cadre réglementaire et valeurs limites d'exposition

En matière d'exposition du public à la téléphonie mobile (antennes-relais et téléphones mobiles), on distingue les restrictions de base des niveaux de référence. Les restrictions de base sont déterminées par les seuils d'exposition à partir desquels des effets néfastes peuvent se manifester, auxquels on applique un facteur de sécurité supplémentaire. Les niveaux de référence, quant à eux, sont fondés sur des grandeurs physiques directement mesurables, dont le champ électromagnétique, exprimé en volt par mètre (V/m). Ils sont établis de manière à garantir le non-dépassement des restrictions de base.

En matière de limitation de l'exposition aux champs électromagnétiques, la France, comme la plupart des pays de l'Union européenne et d'autres pays du monde, s'aligne sur la recommandation européenne n°1999/519/CE¹ qui s'appuie sur les lignes directrices de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) [7]. Certains pays d'Europe appliquent des limites plus basses qui peuvent être spécifiées en fonction de la fréquence mais aussi des lieux.

Les valeurs limites d'exposition aux sources éloignées du corps (niveaux de référence, exprimés en champ électrique), pour les fréquences utilisées en téléphonie mobile, varient entre 36,4 V/m à 700 MHz à 61 V/m à 26 GHz (voir Tab. 2).

Récemment (en 2020), l'ICNIRP a publié une mise à jour [8] de ses lignes directrices qui apporte quelques modifications à ses recommandations pour mieux prendre en compte des situations spécifiques d'exposition liées à l'évolution des technologies, sans remettre en cause les fondements des valeurs limites établies en 1998. Ces modifications portent par exemple sur la manière d'évaluer le débit d'absorption spécifique ou encore en introduisant des notions d'exposition localisée et de durée.

Les évolutions prévisibles des expositions

Avec le déploiement récent de la 5G, malgré une croissance rapide du nombre de sites opérationnels, le nombre d'utilisateurs sollicitant les antennes 5G demeure faible. En conséquence, les mesures récentes indiquent une incidence très faible sur le niveau d'exposition globale mais cela n'est pas représentatif de ce que seront ces niveaux d'exposition dans le futur.

Avec la montée en charge progressive de la 5G et le développement de futurs usages, les niveaux mesurés actuellement ne sont pas représentatifs de la situation dans le futur

Les résultats de simulations numériques indiquent une augmentation limitée de l'exposition moyenne aux champs électromagnétiques, qui passerait de 0,8 V/m à 1,7 V/m. Toutefois, cette augmentation apparaît moindre par rapport à un scénario basé sur une optimisation du réseau 4G ne faisant pas appel à la 5G. Cela illustre l'apport des antennes 5G à faisceaux orientables. Par ailleurs, ces simulations montrent que le pourcentage de points atypiques (exposition aux champs électromagnétiques supérieure à 6 V/m) dus à la 5G pourrait augmenter par rapport à l'état actuel, passant de 0,6 % à 1,1 %. Cela met en lumière la nécessité d'efforts supplémentaires de conception des réseaux de la part des opérateurs pour maîtriser l'augmentation de ces points atypiques [6].

Des enseignements peuvent également être tirés des mesures effectuées en Corée du Sud et au Royaume-Uni où le déploiement de la 5G est relativement plus avancé. En zone urbaine dense, le champ électrique le plus élevé a été mesuré à 2,11 V/m et se situe bien en dessous de la valeur limite (voir niveaux de référence Tab. 2).

Tab. 2 : Niveaux de référence aux fréquences utilisées en téléphonie mobile - (ICNIRP, 1998) et recommandation européenne

Fréquences	Technologie	Niveau de référence (V/m)
700 MHz	4G, 5G	36,4
800 MHz	4 G	28,9
900 MHz	2G, 3G	41,3
1,8 GHz	2G, 4G, 5G	58,3
2,1 GHz	3G, 4G, 5G	61
2,6 GHz	4G	61
3,6 GHz	5G	61
26 GHz	5G	61

¹ Recommandation du Conseil, du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz).

Évaluer les effets sanitaires

Depuis les premiers développements des technologies de communication sans fil, les conséquences sanitaires potentielles liées à l'exposition aux champs électromagnétiques radiofréquences qu'elles émettent sont documentées par de nombreux travaux scientifiques.

Les précédents travaux d'expertise de l'Anses sur les effets sanitaires des radiofréquences publiés en 2009 [9], 2013 [10] et 2016 [11], portaient sur les gammes de fréquences comprises entre 8,3 kHz et 6 GHz¹ utilisées par les technologies nouvelles ou en développement (communications mobiles, TV, radio, Wi-Fi, etc.).

L'augmentation prévue, avec le déploiement de la 5G, du nombre de sources émettant des champs électromagnétiques dans de nouvelles bandes de fréquences, a nécessité d'évaluer les effets biologiques ou sanitaires éventuels qui leur seraient spécifiquement associés [1]. En effet, les risques sanitaires dépendent notamment de la profondeur de pénétration des ondes au niveau des tissus qui varie en fonction de la fréquence. Au-delà des questionnements sur les interactions ondes - tissus biologiques relatives aux fréquences d'exposition et formes des signaux, il faut aussi tenir compte des évolutions des expositions environnementales détaillées plus haut.

Afin d'accompagner le déploiement et le développement de la 5G, quatre chantiers dont un visant à « assurer la transparence et le dialogue sur le déploiement et l'exposition du public » ont été lancés par le Gouvernement². C'est dans ce cadre que l'Anses a été à nouveau saisie³ par les ministères en charge de la Santé, de l'Environnement et de

l'Économie pour conduire une expertise relative à l'exposition de la population aux champs électromagnétiques liée au déploiement de la technologie de communication 5G et aux effets sanitaires associés. Son avis définitif a été rendu le 17 février 2022 [1]. Cette partie s'appuie essentiellement sur les conclusions de cet avis.

Interactions des ondes avec les tissus biologiques et effets recherchés

Lorsqu'une onde électromagnétique entre en contact avec la matière, plusieurs types d'interaction se produisent : réflexion, réfraction, diffraction, diffusion ou encore absorption. Ces interactions sont fonction du rapport entre la longueur d'onde et la taille de l'objet rencontré par le rayonnement, ainsi que des caractéristiques physiques de cet objet (dimensions, forme, position, orientation, propriétés électriques...).

Les effets biologiques, thermiques essentiellement, sont naturellement régulés par l'organisme mais d'autres mécanismes potentiels d'interaction avec les cellules conduisent à investiguer un large éventail d'effets

La matière vivante, en raison de la structure des membranes cellulaires (bicouche lipidique), a la capacité de stocker de l'énergie et de la dissiper. Le corps absorbe ainsi environ 50 % de l'énergie de l'onde émise lors de l'utilisation d'un téléphone portable. Une exposition aux radiofréquences en termes d'effets biologiques se traduit par des courants induits et des échauffements localisés, naturellement régulés par l'organisme en dehors de situation d'exposition exceptionnelle.

Encadré 2 : Hypersensibilité électromagnétique [12]

La question de l'électrohypersensibilité (EHS) a été examinée par l'Anses qui a mobilisé une quarantaine d'experts pendant près de quatre ans et rendu un avis en 2018. Cette expertise a mis en lumière la grande complexité de cette question. Il n'existe pas de critères de diagnostic de l'EHS validés, dont la définition repose uniquement sur l'auto-déclaration des personnes dont les douleurs et la souffrance (maux de tête, troubles du sommeil, de l'attention et de la mémoire, isolement social, etc.) correspondent à une réalité vécue, avec pour conséquence la nécessité pour ces individus d'adapter leur quotidien pour y faire face.

Un grand nombre d'hypothèses ont été investiguées pour comprendre ces symptômes, mais les connaissances scientifiques actuelles ne mettent pas en évidence de lien de cause à effet entre les symptômes dont souffrent les personnes se déclarant EHS et leur exposition aux ondes électromagnétiques. Cela ne minimise pas pour autant la nécessité d'une prise en charge adaptée par les acteurs des domaines sanitaire et social pour répondre à la souffrance des patients se déclarant EHS.

¹La fréquence de 6 GHz correspond à la fréquence à partir de laquelle les valeurs limites d'exposition protégeant contre l'échauffement des tissus fournies par les lignes directrices de la Commission fédérale américaine des communications (FCC) et de l'ICNIRP, ne sont plus exprimées en débit d'absorption spécifique (DAS en W/kg, grandeur volumique) mais en densité surfacique de puissance (en W/m²).

² cf. Feuille de route nationale 5G (16 juillet 2018)

³ Saisine n° 2019-SA-0006 du 9 février 2019

Les effets potentiels d'une exposition aux radiofréquences de faible niveau, appelés « effets non thermiques », sont susceptibles de répondre à d'autres mécanismes d'interaction avec la cellule. Ces effets sont investigués selon différentes approches : études cellulaires ou moléculaires in vitro, études chez l'animal, études de provocation chez l'homme et études épidémiologiques. Les principaux effets recherchés chez l'humain portent sur : le risque de cancer, les modifications du fonctionnement cérébral (cognition, mémoire, activité électrique), la baisse de la fertilité ou encore certains symptômes évoqués dans l'électrohypersensibilité (voir encadré 2).

Chez l'animal, les effets étudiés concernent principalement le cerveau (comportement, cognition, mémoire), la fertilité, le stress oxydant, la génotoxicité et la cancérogenèse. Enfin, les études cellulaires sont focalisées sur la mort cellulaire par apoptose, le stress oxydant, la réponse adaptative (en présence d'un agent physique ou chimique) et la génotoxicité. Il est à noter qu'une expertise s'intéressant spécifiquement aux effets cancérogènes des radiofréquences est en cours d'instruction à l'Anses (toutes bandes de fréquences confondues).

Pas de risques nouveaux pour la santé mais des manques de données identifiés

Les questions spécifiques à chacune des trois bandes de fréquences concernées par le déploiement de la technologie 5G ont été considérées séparément [1].

À l'heure actuelle, aucun résultat d'étude scientifique s'intéressant aux effets sur la santé de l'exposition aux champs électromagnétiques spécifiquement dans les nouvelles bandes de fréquences prévues pour la 5G (autour de 3,5 GHz et de 26 GHz) n'est disponible.

Pour pallier le manque de données concernant les effets des nouvelles bandes de fréquences, les travaux portant sur les bandes voisines ou plus larges ont été examinés

Les conclusions de l'avis rendu par l'Anses [1] s'appuient sur les résultats d'expertises (précédentes expertises Anses et rapports d'expertise internationaux récents 2018-21) menées sur des bandes de fréquences voisines (900 MHz – 2,5 GHz) et sur les données bibliographiques existantes dans des bandes de fréquences plus larges (18 – 100 GHz).

L'encadré 3 résume les principaux effets relevés ainsi que les sources d'information mobilisées pour les trois bandes de fréquence investiguées.

En conclusion, ces éléments indiquent qu'il apparaît peu probable que le déploiement de la technologie 5G dans les bandes de fréquences d'ores et déjà utilisées par les technologies 3G et 4G (comprises entre 700 MHz et 2,1 GHz), ou dans la bande de fréquence 3,5 GHz entraîne de nouveaux risques pour la santé, comparé aux résultats des expertises sur les générations de téléphonie précédentes.

Concernant la bande 26 GHz, les données à l'heure actuelle ne sont pas suffisantes pour conclure à l'existence ou non d'effets sanitaires liés à l'exposition aux champs électromagnétiques.

Encadré 3 : Principaux effets (évalués ou attendus) en réponse à une exposition aux champs électromagnétiques selon la bande de fréquences [1]

Bande 700 MHz (fréquences entre 700 et 2100 MHz)

L'évaluation est basée sur les expertises de l'Anses (2013 et 2016) et sur des expertises internationales récentes (2018 - 2021), même si aucuns travaux spécifiques ne portent sur la fréquence de 700 MHz. Les résultats des expertises conduites par l'Anses restent pertinents dans cette bande de fréquence

Pas de nouveaux liens de causalité mis en évidence dans les rapports d'expertise institutionnels plus récents publiés à l'étranger.

Rappel des précédentes conclusions [10,11] :

- chez l'animal (éléments de preuve limités) : effets concernant le sommeil, la fertilité masculine et les performances cognitives (amélioration des performances) ;
- chez l'adulte : une augmentation du risque de neurinomes du nerf vestibulo-acoustique et du risque de gliome pour les utilisateurs intensifs ayant cumulé plus de 1 640 heures d'exposition au téléphone mobile (éléments de preuve limités) ; modification physiologique à court terme de l'activité cérébrale pendant le sommeil (éléments de preuve suffisants) ;
- chez l'enfant : effets possibles sur les fonctions cognitives et le bien-être (ces derniers pourraient être liés à l'usage des téléphones mobiles plutôt qu'aux radiofréquences qu'ils émettent).

Bande 3,5 GHz (fréquences entre 3,4 et 3,8 GHz)

Seulement cinq études de risques sanitaires spécifiques à ces bandes de fréquence (3,5 GHz) ont été identifiées. À défaut, ont été examinées des études sur les bandes de fréquences voisines (900 MHz – 2,5 GHz).

- Différences concernant l'absorption d'énergie électromagnétique : la profondeur de pénétration est réduite d'environ 40 % par rapport à 900 MHz. De plus, les longueurs d'onde plus courtes tendent à augmenter l'hétérogénéité de la répartition de la puissance absorbée dans les tissus. **Ces différences n'ont a priori pas d'impact notable sur l'exposition locale du corps bien plus influencée par les paramètres du téléphone et les modalités d'usage.**
- Grande similarité des signaux mais impact potentiel du caractère intermittent sur les interactions biophysiques au sein du vivant non documenté.
- Étude des effets comportementaux et neurophysiologiques chez l'animal ou chez l'homme : aucun lien entre la fréquence des champs électromagnétiques et l'apparition des effets étudiés. En l'état des connaissances actuelles, les effets physiologiques ou les risques sanitaires ne semblent donc pas dépendre de la fréquence, entre 840 MHz et 2,85 GHz.
- Effets cellulaires et moléculaires : l'intensité des effets augmente avec la fréquence des champs électromagnétiques. Il existe donc une incertitude quant au rôle de la fréquence des champs électromagnétiques sur l'apparition d'effets biologiques chez l'homme.
- Dans les bandes de fréquences des communications mobiles 2G, 3G, 4G, Wi-Fi, etc. (entre 840 MHz et 2,85 GHz), les expertises n'ont pas permis de conclure à l'existence d'effets délétères pour la santé pour des expositions inférieures aux valeurs limites réglementaires.

Bande 26 GHz (fréquences entre 24,25 et 27,5 GHz)

Aucune donnée dans cette bande de fréquences n'est aujourd'hui disponible. La revue des effets a porté sur des bandes de fréquences plus larges (18 – 100 GHz) avec pour conséquence des données très disparates en matière de fréquences, de technologies et de types d'effets étudiés. En complément, une analyse prédictive des données expérimentales et de simulations sur la base d'hypothèses relatives aux propriétés physiques des ondes a permis une appréciation qualitative des effets attendus.

- La littérature scientifique a principalement étudié les effets sur la peau, l'œil, les membranes, le système nerveux central et les cellules issues de divers tissus humains ou animaux (peau, neurones, cornée...) : **à l'heure actuelle, les données ne sont pas suffisantes pour conclure à l'existence ou non d'effets sanitaires néfastes liés à ces expositions.** Quelques effets ont été rapportés, certains transitoires ou pour de forts niveaux d'exposition, cependant, le niveau de preuve est considéré comme limité. Il est noté par les experts que certains effets d'intérêt mériteraient de faire l'objet d'études.
- Selon les analyses prédictives, la profondeur de pénétration des ondes est de l'ordre du millimètre, ce qui conduit à une exposition plus superficielle (que pour les fréquences plus faibles) des couches de la peau ou de l'œil, avec pour conséquences attendues :
 - des densités de puissance absorbées au niveau de la peau ou de l'œil faibles qui n'occasionneront que de très faibles élévations de température (de l'ordre du millième de °C) ;
 - des niveaux d'exposition en champ proche, estimés par les simulations, inférieurs à ceux des technologies 3G/4G.

Des effets sanitaires indirects liés au développement de nouveaux usages

L'état de santé d'un individu ou d'une population repose sur un ensemble de facteurs personnels, sociaux, économiques et environnementaux. Alors qu'il a été établi précédemment qu'en l'état actuel des connaissances, la nocivité de l'exposition aux champs électromagnétiques n'est pas avérée mais reste à étudier, il s'agit maintenant de s'arrêter sur les potentiels impacts sanitaires indirects du déploiement de la 5G. Le champ exploré est très large tant cette technologie marque une rupture en offrant des possibilités inédites.

L'extension des activités et modes de communication à distance

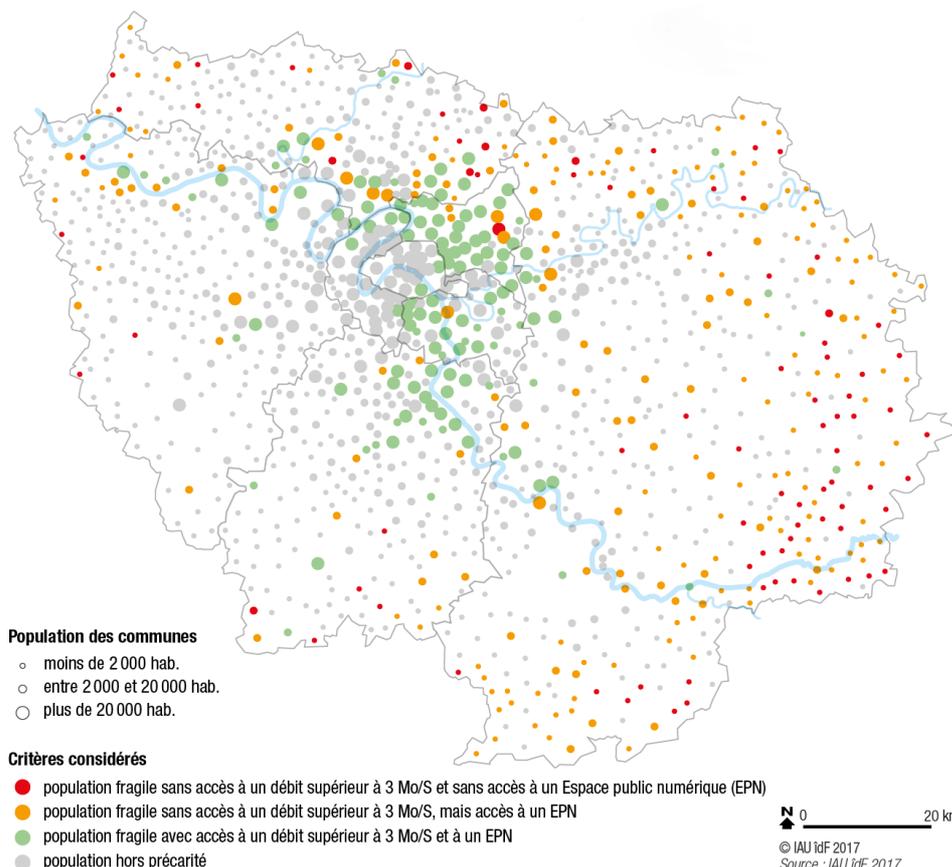
Le préfixe télé- connaît un essor sans précédent dans le langage courant : télé-médecine, téléconsultation, télétravail, etc. L'augmentation de l'usage des modes de communication à distance générerait probablement une réduction des déplacements et donc une diminution de l'accidentologie, une limitation des émissions de polluants de l'air et des gaz à effet de serre liés au trafic. Les bénéfices apportés par ces changements de pratiques doivent toutefois être nuancés. Pour illustration, le télétravail – d'autant

plus lorsqu'il est imposé – peut conduire à un accroissement des risques psychosociaux, certains pointant même une déshumanisation des relations professionnelles. Il est susceptible également d'augmenter la sédentarité et présente des risques accrus de troubles musculosquelettiques [13]. L'analyse des effets du confinement au printemps 2020 sur la lombalgie en donne une illustration [14].

La dématérialisation, un atout pour les territoires, à condition qu'elle soit accompagnée par les pouvoirs publics

En ce qui concerne l'aménagement numérique des territoires, en admettant que la 5G participe à la couverture de zones dites « blanches », l'accessibilité du télétravail pourrait-elle faciliter l'emploi dans des zones sous-dotées ou le recours aux soins dans les déserts médicaux ? Et donc, cette technologie participerait-elle à la réduction des inégalités socio-spatiales de santé ? La résorption de la fracture numérique, l'une des justifications du développement de la 5G, ne consiste pas uniquement à améliorer la couverture du territoire. Si tel était le cas, cela pourrait entraîner au contraire une hausse des inégalités so-

Fig 7 : L'accès au numérique des populations fragiles en Île-de-France



ciales et générationnelles. Profiter des opportunités offertes par le numérique ne peut être effectif sans la montée en compétences de l'ensemble des Français que les pouvoirs publics cherchent à accompagner notamment via le programme « Société numérique » de l'Agence nationale de la cohésion des territoires. Les politiques locales d'inclusion numérique visent à lutter contre les inégalités d'accès au numérique [15]. Pour les cas extrêmes, on parle d'illettrisme numérique appelé aussi illettronisme. Il renvoie à l'incapacité d'un individu à utiliser les services numériques de base. Ce phénomène concernerait aujourd'hui 17 % de la population française soit environ 13 millions de personnes selon l'Insee. 34 % des personnes peu ou pas diplômées souffriraient d'illettrisme numérique. Une famille modeste sur quatre n'a pas l'équipement numérique nécessaire à la scolarité de ses enfants [13]. Cette situation reflète un déficit d'égalité d'accès à l'éducation et à la formation pour tous, déterminant de santé bien connu. La carte ci-contre représente les inégalités d'accès des populations fragiles au numérique en Île-de-France (voir Fig. 7). Sur cette carte, les populations fragiles sont définies à partir du croisement des indicateurs de bas revenu, absence de diplôme et classe d'âges. Leur accès au numérique est évalué selon le débit internet disponible sur leur territoire et leur proximité à un Espace public numérique (EPN)¹. Force est de constater que les populations les plus éloignées du numérique semblent se situer dans les territoires où les indicateurs de santé apparaissent dégradés avec une morbi-mortalité supérieure à la moyenne régionale [16].

Omniprésence du numérique dans la vie quotidienne

Le déploiement grand public de la 5G tend à renforcer les pratiques du *cloud gaming*² ou du *streaming vidéo* en usage nomade dont on observe déjà l'accoutumance des usagers des transports en commun tant ils sont nombreux à visionner des contenus web. Aujourd'hui, les adultes passent entre 5 et 10 heures chaque semaine à regarder des vidéos et des films sur internet et 1 heure par semaine pour les jeunes [17].

L'environnement numérique devient progressivement un enjeu de santé publique tant les jeunes sont exposés

Outre le risque accru de repli sur soi et de comportements addictifs, l'exposition prolongée aux écrans et à certains contenus n'est pas sans risque pour la santé et tout particulièrement sur la santé de l'enfant et de l'adolescent : sur-incidence de l'obésité,

troubles du sommeil et comportementaux, capacités cognitives diminuées, retards de langage, etc. De surcroît, les enfants et adolescents sont des publics particulièrement fragiles et exposés notamment au phénomène de cyberviolence, le plus connu d'entre eux étant le cyberharcèlement. Les conséquences peuvent être graves et conduire à un profond mal-être [13,18]. Si le temps passé sur les écrans induit des comportements sédentaires, le type d'interaction avec les contenus numériques apparaît aussi déterminant. L'impact de l'usage des réseaux sociaux sur la santé des enfants et adolescents est particulièrement scruté, mais aussi les phénomènes de « technoférence », à savoir la manière dont interfèrent les outils numériques dans les relations parents-enfants.

Quant à la surconsommation de données générées par ces pratiques endémiques, elle va de pair avec l'émission massive de gaz à effet de serre (GES) responsables du réchauffement climatique, lui-même délétère pour la santé des populations [19] (voir Fig. 8). Ces aspects seront détaillés au paragraphe suivant « Impacts environnementaux à l'heure de la sobriété ».

Développement de solutions technologiques de très haut niveau

L'épidémie de Covid-19 a révélé l'intérêt de la télé-médecine et a mis en lumière l'importance des équipements médicaux dans la prise en charge des pathologies. Aujourd'hui, la 5G est souvent présentée comme un atout pour le secteur de la santé. Elle a pour ambition de favoriser l'essor des objets connectés médicaux notamment des blocs opératoires rendant possible la télé-chirurgie et faciliterait la téléassistance grâce au très haut débit et au faible temps de latence qu'elle fournit, un enjeu crucial pour la médecine d'urgence [20].

La 5G au service d'une médecine de pointe et non une solution optimale pour combler la pénurie de médecins

Une meilleure couverture numérique du territoire n'enlèvera rien à la nécessité de prise en charge d'actes médicaux requérant une présence physique. Cependant, la littérature internationale et nationale montre que la télémédecine a fait ses preuves dans un certain nombre de cas. La télémédecine recouvre aujourd'hui quatre champs :

- 1) les échanges entre médecins et patients (téléconsultation),
- 2) les échanges de compétence entre professionnels (télé-expertise),

¹ Un lieu d'accès public à l'Internet et à du matériel informatique, qui, en outre, propose un accompagnement à l'utilisation du numérique.

² Le cloud gaming est une technologie qui permet de jouer à des jeux vidéo en streaming à travers Internet et sur n'importe quel écran.

- 3) la télésurveillance,
- 4) la téléassistance (soutien entre professionnels de santé).

Pour ce qui concerne les échanges entre médecins et patients, la télé-médecine, qui s'est énormément développée pendant la crise liée à la Covid-19, apporte beaucoup sous réserve qu'elle s'inscrive dans le parcours patient (relation avec médecin traitant). La téléconsultation contribue notamment aux actes médicaux suivants : les réponses à des questions simples de santé, le suivi de routine de maladies chroniques, le renouvellement d'ordonnance et le suivi médical en EHPAD ou dans les prisons. Elle est entre autres développée en dermatologie pour le suivi de plaies chroniques complexes ou encore en psychiatrie [13][21]...

Dans la médecine de pointe, la 5G pourrait se révéler utile, bien que cette efficacité ait un coût en premier lieu financier. En revanche, il est difficilement imaginable qu'elle participe totalement à la résorption des déserts médicaux, d'autant plus que les technologies existantes (3G, 4G ou réseau filaire) répondent déjà largement aux requis techniques pour la téléconsultation.

La 5G une promesse pour l'ingénierie de demain

La 5G est aussi une opportunité inédite pour le secteur industriel qui s'appuie de plus en plus sur l'Internet des objets (IoT) et l'Intelligence artificielle dans ses chaînes de conception et de production [22]. Par ailleurs, elle pourrait accroître le potentiel des

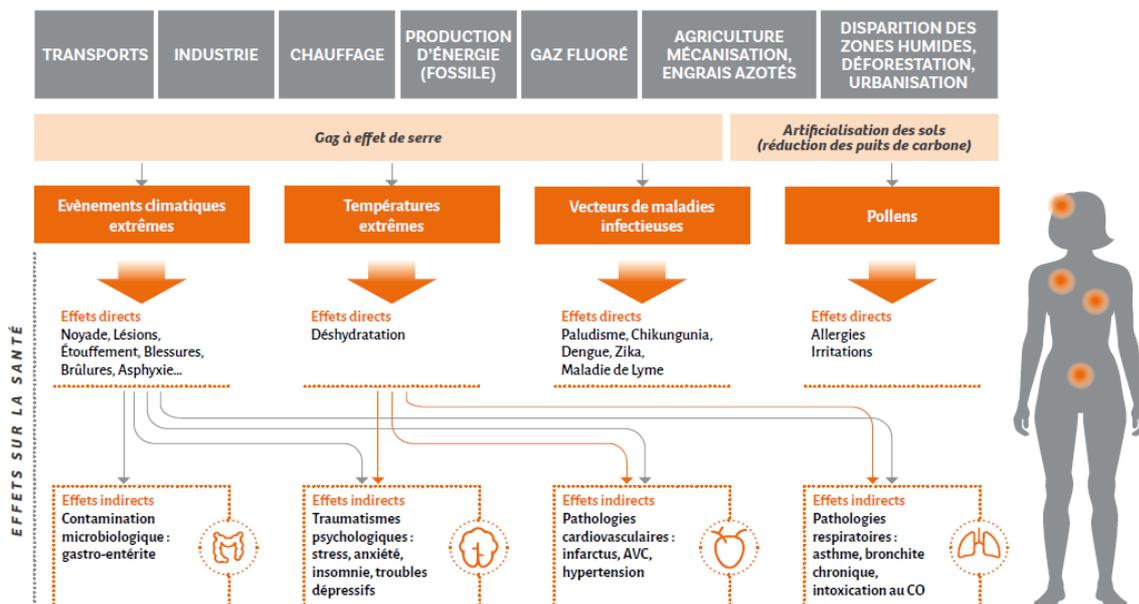
« réseaux électriques intelligents » ou « smartgrids » - des outils de maîtrise énergétique - grâce à la mise à niveau et l'autonomisation des infrastructures électriques. Enfin, la 5G entend supporter les mobilités de demain en participant très largement au développement des véhicules intégrant les nouvelles technologies, dont un ensemble de technologies prédictives et de détection de l'environnement qui les entoure, solutions visant entre autres à réduire les accidents de la route [23].

La faisabilité opérationnelle des solutions technologiques évoquées ci-dessus pose encore questions et nombre d'entre elles sont à l'état d'expérimentation.

Impacts environnementaux à l'heure de la sobriété

Quant à l'ensemble de ces usages, il nécessite l'utilisation de volumes de données très importants, ce qui, de fait, entrainerait le remplacement de nombreux équipements du réseau et leur densification. Progressivement obsolètes, les infrastructures et terminaux actuels devront être renouvelés [22]. Or, à la question de la disponibilité de ressources s'ajoute celle de la génération de déchets et de pollutions préjudiciables à la santé humaine, animale et au fonctionnement des écosystèmes engendré par la production des nouveaux équipements. En 2019, les déchets électroniques représentaient 53,6 millions de tonnes soit 7,3 kg par habitant dans le monde. En France, cela représente 21 kg par personne soit trois fois plus que la moyenne mondiale [24]. La hausse des pratiques de recyclage repousserait l'échéance

Fig. 8 : Origines et effets du dérèglement climatique sur la santé



Le développement de la 5G contribue à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre notamment parce qu'il dépend de la production de terminaux, repose sur la consommation d'énergie, génère des flux de marchandises conséquents et dégrade les ressources terrestres, réservoir de carbone.

Source : L'environnement, clé d'une meilleure santé, CERDD, 2021

des limites physiques des ressources en métaux mais ne romprait pas la dynamique. Aujourd'hui, seuls 17,4% des déchets électroniques sont collectés et recyclés dans le monde mais ce taux est plus élevé en Europe, de l'ordre de 42 % [24]. Grande consommatrice de métaux (dont la disponibilité est menacée) (voir Fig. 9), la fabrication des technologies numériques, information et communication (TNIC) et notamment celle des smartphones, participe ainsi à la dispersion de certains métaux et aux pollutions liées. À titre d'exemple, l'extraction des ressources minières représente un risque quant à la disponibilité et la qualité de l'eau [13].

En outre, la contribution du numérique au réchauffement climatique constitue l'un des effets les plus préoccupants puisque le déploiement de la 5G bien que présentée comme énergétiquement sobre concourt significativement à la hausse des émissions de gaz à effet de serre. La Commission européenne estime que le numérique représente plus de 2 % des émissions mondiales mais The Shift Project l'estime à 3,7 % et Green IT l'estime à 4,3 % [25].

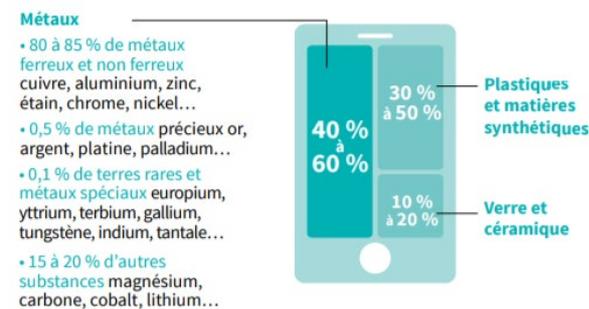
En outre, dans l'étude « iNum », Green IT a estimé ce que représente le numérique en matière de consommation de ressources et d'énergie pour la France (voir Tab. 3)

L'efficacité énergétique de la technologie 5G ne permettrait pas de compenser son empreinte énergétique totale et donc les émissions de carbone qui en découlent [19]. L'impact carbone généré par son

déploiement massif s'explique premièrement et principalement par la hausse du volume de matériaux produits et les procédés de fabrication. La Fig. 10 représente une projection de la distribution de l'impact carbone de la 5G à l'horizon 2030 par composantes : terminaux (smartphones, casques de réalité virtuelle, objets connectés, etc.) ; équipements du réseau ; datacenters ou centre de données. Les émissions sont distinguées selon deux phases : « l'amont » correspondant à celles générées par leur production et « l'utilisation » faisant référence à celles générées par leur fonctionnement. Cette dynamique est due, pour les trois quarts, au renouvellement et à l'augmentation du nombre d'équipements individuels (smartphone, casques VR, objets connectés, etc.) et des besoins de production induits, et pour le quart restant, à la consommation importante de données et leur stockage très énergivores [26]. Il est intéressant de noter que pourtant l'énergie utilisée pour le fonctionnement des terminaux et réseaux repose largement sur une électricité française relativement décarbonée, et en partie pour les datacenters.

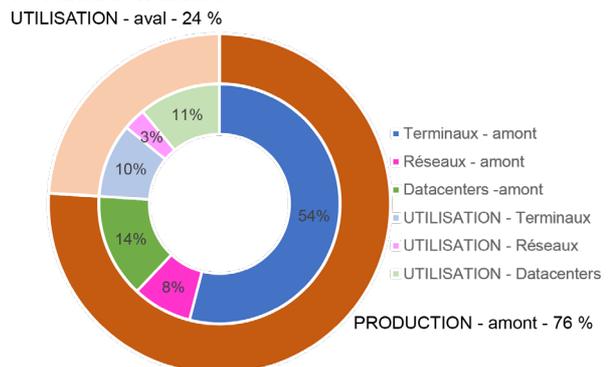
Pour résumer, on constate un effet rebond, c'est-à-dire que l'efficacité énergétique engendrée par les progrès techniques ne contrebalancerait pas l'impact carbone induit par la généralisation de l'usage de la 5G alors même que l'énergie française est très largement décarbonée.

Fig. 9 : Composition d'un smartphone



Source : Ademe

Fig. 10 : Répartition de l'impact carbone de la 5G par postes d'émissions en 2030 dans l'évaluation haute



Source : Haut Conseil pour le climat. Maîtriser l'impact carbone de la 5G. 2020

Tab. 3 : Consommations de ressources et d'énergie dédiées au numérique pour la France

	Consommations pour la France	Equivalence
Consommation d'énergie	180 TWh d'énergie primaire	6,2 % de la consommation de la France
Réchauffement global	24 millions de tonnes de gaz à effet de serre	3,2 % des émissions de la France
Tension sur l'eau douce	559 millions de m ³ d'eau douce	2,2 % de la consommation de la France
Epuisement des ressources abiotiques	833 tonnes équivalent antimoine	Excavation de 4 milliards de tonnes de terre

Source : étude iNum (Green IT) [25]

Minimiser les effets négatifs et maximiser les effets positifs de la 5G sur la santé

Le numérique, et a fortiori la technologie 5G, n'est pas neutre, il est susceptible de reproduire et alimenter des inégalités sociales existantes. Le développement suivant propose quelques recommandations dans l'objectif de faire de la technologie 5G une opportunité pour la santé et les territoires.

Un déploiement ciblé

Si la généralisation de la 5G n'est pas maîtrisée et qu'aucun cadre n'est défini, il est permis de douter de ses bénéfices pour la société et son environnement : progression de la sédentarité, croissance des risques psycho-sociaux, recrudescence des émissions de gaz à effet de serre, épuisement des sols, démultiplication de déchets... Aussi, l'ensemble des travaux sur le sujet appelle à un déploiement ciblé de cette technologie, c'est-à-dire raisonnable et proportionné, en posant les questions suivantes (voir Fig. 11) : quel cas d'usage est pertinent au regard de son apport et de sa faisabilité opérationnelle ? En quoi la technologie déjà existante ne répond-elle pas à ce besoin ? Pour le citoyen, la 5G a-t-elle une réelle valeur ajoutée ou s'agit-il davantage de commodité ? Quelle zone est-il nécessaire de couvrir en priorité pour quel niveau de service [22] ? En réalité, une grande part des usages de la 5G ne requiert pas son déploiement massif sur l'ensemble du territoire. L'usage interne en entreprise ou par les collectivités territoriales sur certains sites en est une bonne illustration. Qui plus est, la généralisation de certains usages professionnels parait, à l'heure actuelle,

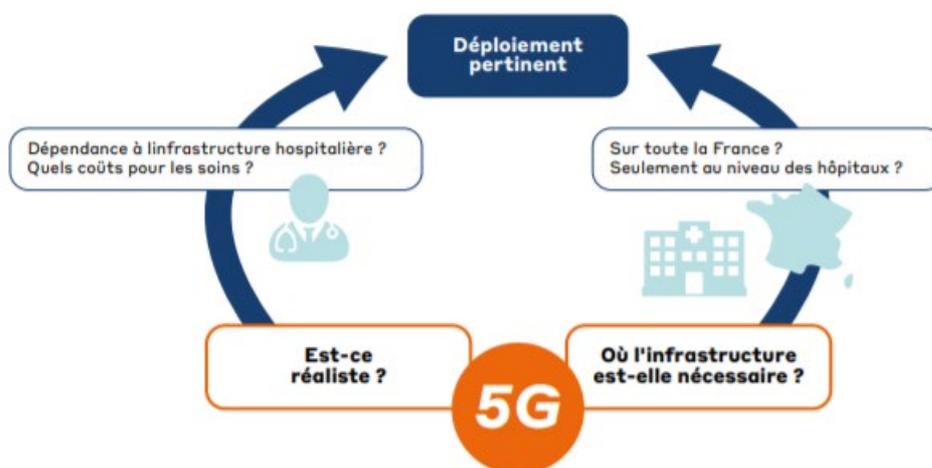
déraisonnable compte tenu des coûts et des difficultés techniques qu'ils posent (ex : massification de la télé-chirurgie).

Une 5G pour et avec les territoires

Apporter des réponses réfléchies et adaptées aux interrogations précitées revient à établir une stratégie de déploiement de la 5G répondant à des objectifs de sobriété numérique visant la résilience des territoires. L'offre 5G dans les zones peu denses, dépourvues de certains services publics pourrait dans des situations spécifiques contribuer à la réduction des inégalités socio-spatiales (ceci étant toujours à mettre en regard avec les coûts environnementaux et financiers pour la collectivité). C'est la raison pour laquelle il est nécessaire d'inclure les territoires et ses habitants dans les choix locaux faits en matière de numérique.

La proposition de moratoire sur le développement de la 5G formulée dans la convention citoyenne pour le climat témoigne du souhait des citoyens d'être partie prenante de la décision [27] : « Dans une logique d'écoconception, nous proposons d'évaluer les avantages et inconvénients de la 5G par rapport à la fibre avant et non après avoir accordé les licences pour son développement mais aussi d'initier/conseiller à l'utilisation de la solution la moins impactante pour l'environnement. »

Fig. 11 : Dimensionner le déploiement pour répondre au besoin de manière optimisée avant de mettre ce besoin au regard des contraintes physiques : l'exemple de la téléchirurgie



Source : The Shift Project

Concernant l'implantation d'antennes relais, l'Agence nationale de la cohésion des territoires (ANCT) a publié en avril 2022, un guide à destination des opérateurs mobiles et des opérateurs d'infrastructures mobiles dans le but de favoriser l'intégration paysagère des antennes relais et mieux prendre en compte les enjeux de biodiversité [28]. Celui-ci préconise l'installation d'antennes sur des supports existants (par exemple, des bâtiments, châteaux d'eau...) tout en réduisant au maximum leur visibilité pour ne pas saper le paysage et éviter les zones particulièrement sensibles pour la biodiversité comme les zones humides. Il est fortement recommandé de se faire accompagner par un paysagiste concepteur et un bureau d'étude pour compenser d'éventuels impacts résiduels sur la biodiversité et de prêter une attention particulière à la phase chantier afin de ne pas déstabiliser la faune environnante. En outre, l'ANCT préconise de s'appuyer sur des outils de connaissance tels que les atlas de paysage, ou encore des documents relatifs aux valeurs paysagères (par exemple, les chartes des parcs naturels régionaux) ainsi que sur les stratégies territoriales présentes dans les documents d'urbanisme. Enfin, l'identification des enjeux pesant sur les paysages et la biodiversité doit s'exercer dans le cadre d'une concertation avec les services de l'Etat, les élus locaux et les gestionnaires des espaces protégés le cas échéant.

Qu'importe le milieu - rural, périurbain, urbain - dans lequel sont implantées les antennes relais, la question de leur intégration dans l'environnement se pose

Plus largement, à l'origine des nombreux recours contentieux devant le tribunal administratif concernant l'installation d'antennes relais, sont invoqués le manque d'information, de transparence et l'absence de concertation que la Convention appelle de ses vœux. La mise à l'écart des citoyens dans le processus de décision autour du déploiement de la 5G s'illustre au niveau local.

Si le rôle des élus reste limité, ils peuvent jouer un rôle clé dans la concertation.

Bien que le rôle des élus soit limité en raison de la liberté d'entreprise dont peuvent se prévaloir les opérateurs de télécommunication mobile, ils sont à l'interface entre les opérateurs et les citoyens usagers [29]. D'ailleurs, la loi dite « Abeille » (2015) confère au maire un rôle clé dans la concertation et l'information en matière d'exposition aux ondes électromagnétiques et crée le Comité de dialogue relatif au niveau d'exposition du public aux ondes visant à informer les élus sur les niveaux d'exposition et les outils de concertation.

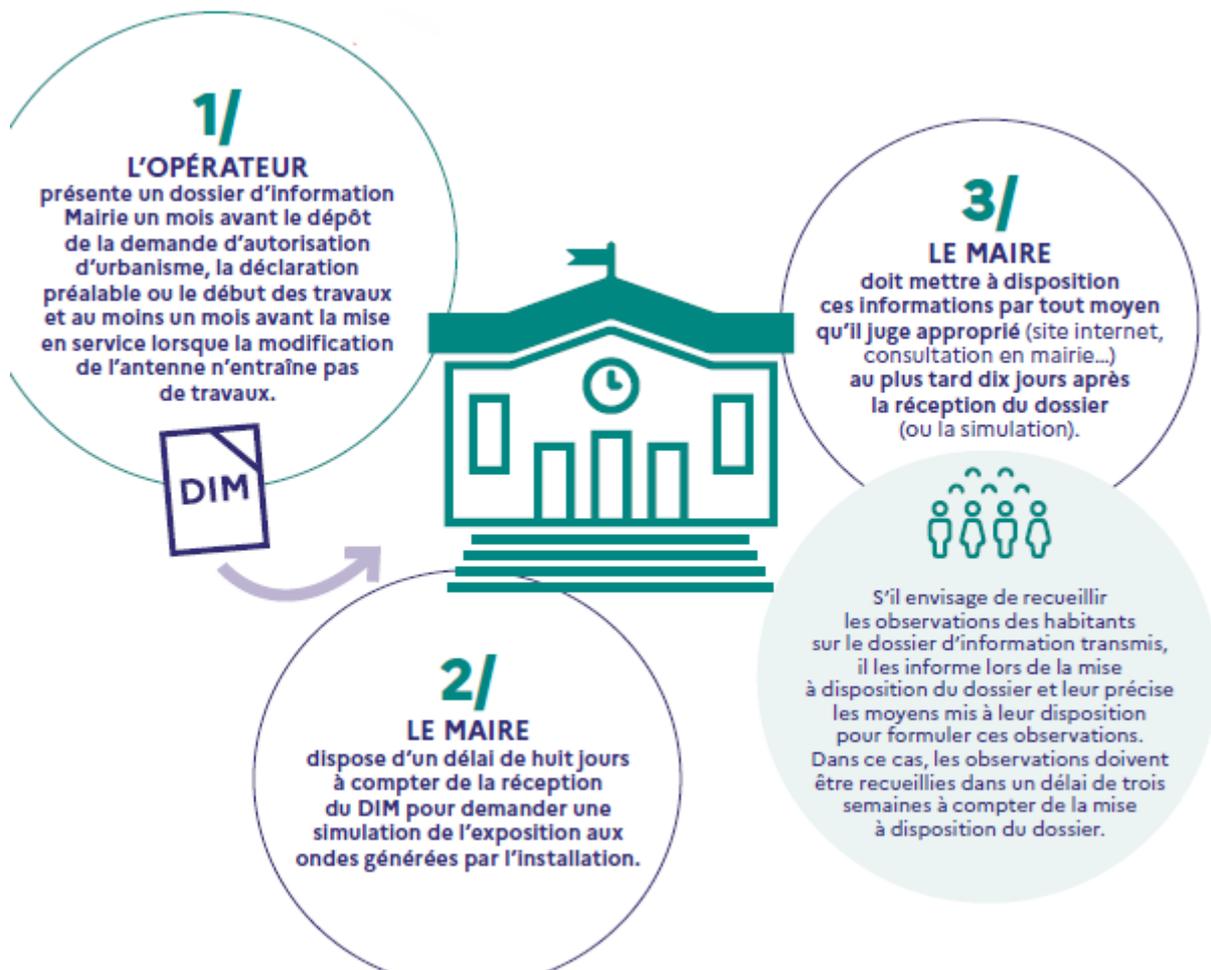
Adressant plus spécifiquement les enjeux relatifs à la 5G, l'État a mis en place un comité de Concertation France Mobile dans le but d'informer les élus et construire les conditions de la transparence. Les élus ont pour mission d'accompagner l'installation d'équipement à défaut de pouvoir s'y opposer. Pour ce faire, les opérateurs ont l'obligation de déposer un dossier d'information Mairie (DIM) auprès du maire ou du président de l'intercommunalité afin de le renseigner sur la démarche d'installation ou d'intervention sur une antenne (voir Fig. 12). Par ailleurs, les élus peuvent organiser des réunions d'information avec les opérateurs et les pouvoirs publics, saisir une demande de médiation auprès du préfet de département et demander une mesure de l'exposition aux ondes sur sa commune via le site mesures.anfr.fr. Manifestement, l'ensemble de ces dispositifs permet de renforcer l'information, la transparence et le dialogue mais non de participer aux décisions relatives à l'implantation de la 5G.

En Île-de-France, il semblerait qu'une unique conférence citoyenne métropolitaine ait été organisée pour débattre de la 5G en 2020. 80 habitants de Paris et petite couronne y ont participé.

À son issue, 21 recommandations ont été présentées au Conseil de Paris ayant pour but de minimiser l'impact environnemental de la 5G, de protéger les jeunes des risques du numérique, de favoriser la transparence et l'information sur cette technologie. Parmi les leviers, sont évoqués le renouvellement des pratiques en matière de commande publique, les études d'impact, la réglementation de la publicité sur les équipements, la création de centres ressources 5G sur le territoire, le renforcement de la réglementation sur l'implantation des antennes ou encore la formation des enseignants, etc. [30]. Les propositions de la conférence citoyenne métropolitaine ont donné lieu à la révision de la Charte de téléphonie mobile, un document cadre signé avec les opérateurs visant à inclure les propositions des citoyens dans le déploiement de la 5G.

Un Observatoire parisien de la téléphonie mobile, instance de suivi, est mis en place par la ville de Paris afin de s'assurer du respect de la charte, de suivre les actions menées et de partager l'état des connaissances sur les enjeux de la téléphonie mobile [31]. Il s'agit d'une initiative inédite en Île-de-France qui pourrait être répliquée sur d'autres territoires.

Fig. 12 : Le parcours du dossier d'information mairie (DIM)



Source : L'essentiel sur la 5G. Secrétariat d'État chargé de la Transition numérique et des communications électroniques [24]

Sensibilisation aux enjeux sanitaires et aux impacts environnementaux de l'usage du numérique

La technologie 5G en tant que telle n'engendre pas de nouveaux coûts sociétaux, mais son corolaire, la société du tout numérique les accroît. Aussi, pour finir, il nous a semblé important de revenir sur les leviers dont chacun dispose pour les contenir. En effet, minimiser les risques et coûts pour la santé humaine et animale et l'équilibre des écosystèmes liés au développement de la 5G passe par l'information et la sensibilisation des citoyens quant à l'impact de leurs usages numériques.

Des enjeux sanitaires, notamment pour les plus jeunes

Concernant les premiers âges de la vie, le temps considérable passé sur les écrans est consommé au détriment du développement d'autres capacités et apprentissages de l'enfant. Les technologies numériques ont évolué si rapidement qu'il est difficile aujourd'hui d'en appréhender les dommages. Ce que

l'on sait c'est que le clic s'est substitué au geste moteur de visser, colorier, déplacer des objets... ces modifications sensori-motrices ne sont vraisemblablement pas sans conséquence sur la santé de l'enfant et du futur adulte. D'ailleurs, sont observés dans le domaine de l'apprentissage, des troubles de l'attention et de la mémoire [13].

Intégrer le numérique dans une démarche éducative globale

Le rôle de médiation des parents à l'égard des pratiques numériques de leurs enfants est fondamental aussi bien dans la découverte d'Internet que dans la régulation de leurs usages. Le Comité de la prévention et de la précaution (CPP) du ministère de la Transition écologique préconise de pas utiliser d'écran avec des enfants de moins de 3 ans. Jusqu'à 5 ans, l'usage d'un écran doit être limité à une heure par jour maximum et le contenu de haute qualité adapté au développement des capacités de l'enfant.

Sur le plan relationnel et social, le numérique reproduit les configurations existantes et parfois conflictuelles entre les individus. La nouveauté réside dans

la rupture de la frontière entre les sphères privée et publique via notamment les réseaux sociaux. 63 % des adolescents de moins de 13 ans ont au moins un compte sur les réseaux sociaux et plus de 9 adolescents sur 10 de 15 à 18 ans. Aussi, la prévention et la protection contre la cyberviolence doivent être une priorité et ce, dès l'école primaire. Familles, associations et Éducation nationale doivent agir de concert aussi bien pour le collectif que dans des situations précises. Des outils sont mis à disposition des parents et de la communauté éducative pour faciliter les interventions [13].

Réduire les impacts environnementaux

Sur le plan environnemental, par habitant en France, les impacts moyens annuels de l'utilisation du numérique sur le changement climatique, sont similaires à 2 259 km en voiture.

De simples gestes axés autour de deux principes – la longévité et la sobriété – ralentissent la dégradation de l'environnement et son impact sur la santé

La production de déchets est quant à elle égale à 299 kg / habitant sur l'ensemble du cycle de vie des équipements (de leur fabrication à leur fin de vie) [22]. Quelques exemples de bonnes pratiques sont indiqués ci-après. L'objectif, en premier lieu, est de tout faire pour éviter la fabrication de nouveaux appareils. Deux pistes sont à mettre en œuvre : augmenter la durée de vie des équipements et réduire la quantité d'équipements¹.

Voici quelques recommandations [17] :

- Repousser le renouvellement de son ordinateur ou de sa tablette de 2 à 4 ans permet de réduire de 50 % son bilan environnemental (or aujourd'hui, 88 % des Français changent leur portable alors que celui-ci fonctionne encore) ;
- Privilégier la réparation au remplacement et recourir à des appareils reconditionnés ;
- Lutter contre l'obsolescence programmée en privilégiant des appareils avec un haut indice de réparabilité ;
- Choisir des appareils porteurs de labels environnementaux (voir Tab. 4) ;
- Réduire le nombre d'objets connectés.

En second lieu, il est possible de limiter sa consommation d'énergie avec des gestes simples [32] :

- Adapter ses usages à ses besoins : le visionnage d'une vidéo sur smartphone dans les transports en commun grâce au haut débit consomme plusieurs fois l'électricité nécessaire au visionnage de la même vidéo après son téléchargement via la fibre.
- Réduire le transfert et le stockage de données : faire le tri dans sa boîte mail, faire des requêtes web plus directes, utiliser des sites de dépôt temporaire pour partager des documents, etc.

¹ Sur la sobriété numérique, cf. restitution de l'atelier de l'AREC : <https://www.arec-idf.fr/sobriete-energetique-recommandations-pour-l'action/> en allant sur l'atelier #11

Tab. 4 : Labels environnementaux des appareils numériques

Label	Appareils concernés	Signification
	Ordinateurs et écrans	Economes, recyclables, réutilisables ou réparables. Absence ou limitation de certaines substances dangereuses pour la santé
	Ordinateurs et imprimantes	Economes, réparables. Absence ou limitation de certaines substances dangereuses pour la santé
	Ordinateurs, imprimantes, téléphones portables	Economes, recyclables et réparables. Absence ou limitation de certaines substances dangereuses pour la santé
	Ordinateurs, écrans, tablettes et téléphones portables	Economes, recyclables, réutilisables ou réparables, résistants dans la durée. Absence ou limitation de certaines substances dangereuses pour la santé

Source : Ademe

Conclusion et perspectives

De façon générale, comme le souligne l'Anses, il est souhaitable d'encourager la réalisation d'études et d'évaluations des effets et impacts préalablement au déploiement de nouvelles technologies. Cela va de pair avec l'importance d'identifier au plus tôt les impacts environnementaux et sociétaux du numérique que la technologie 5G va probablement accélérer.

En effet, le déploiement de la technologie 5G s'opère alors qu'une transformation de la société est à l'œuvre du fait de l'irruption de nouveaux usages rendus possibles par les technologies numériques et de leur diffusion massive, tels que les objets connectés plus nombreux et diversifiés dont les développeurs de la technologie 5G font la promotion.

Avec le déploiement de la technologie 5G dans des bandes de fréquences d'ores et déjà utilisées par les technologies 3G et 4G, comprises entre 700 MHz et 2,1 GHz, ou dans la bande de fréquence 3,5 GHz, les niveaux globaux d'exposition aux champs électromagnétiques seront comparables ou légèrement supérieurs à ceux des technologies existantes, mais resteraient bien inférieurs aux valeurs limites réglementaires selon les premières mesures et simulations. Il est peu probable que ce déploiement entraîne de nouveaux risques pour la santé, comparé aux résultats des expertises sur les générations de téléphonie précédentes. Concernant la bande 26 GHz, prochainement mise en service, les données à l'heure actuelle ne sont pas suffisantes pour conclure à l'existence ou non d'effets sanitaires liés à l'exposition aux champs électromagnétiques.

Ainsi, il est nécessaire de poursuivre la production de données, en particulier pour suivre l'évolution de l'exposition des populations au fil de l'extension du parc d'antennes et de l'augmentation de l'utilisation des réseaux 5G. De façon plus générale, l'Anses réaffirme que l'acquisition de connaissances nouvelles, notamment sur les liens entre expositions et effets sanitaires, reste également essentielle. En effet, si les travaux d'expertise successifs sur les radiofréquences indiquent qu'il n'existe pas à ce jour de preuve d'effet sanitaire lié aux usages numériques courants, d'autres effets comme le développement de cancer, l'altération du fonctionnement cérébral ou de la fertilité continuent de faire l'objet de travaux. En fonction des nouvelles connaissances, de nouvelles expertises pourront être engagées et les avis émis à l'heure actuelle pourront évoluer.

Autant que faire se peut, il est recommandé de limiter l'exposition aux champs électromagnétiques, notamment celle des enfants. À cet effet, il existe des bonnes pratiques d'utilisation de la téléphonie mobile (usage modéré des dispositifs, recours au kit main-libre).

Quant à la transformation numérique accélérée par le déploiement de la 5G, elle n'est pas sans conséquence pour les santés humaine, animale et le fonctionnement des écosystèmes. Certaines externalités négatives sont bien documentées tels que les effets du réchauffement climatique - conséquence de la hausse des émissions de CO₂ -, l'assèchement de ressources non renouvelables ou encore la production de déchets préjudiciables pour l'environnement... et demandent des pouvoirs publics un accompagnement vers plus de sobriété [33]. Outre l'équilibre des écosystèmes, celui de la société est aussi en jeu. En effet, le déploiement de la 5G peut être une réelle opportunité pour les territoires : développement de technologies de pointe, réduction de la fracture numérique, égalité d'accès aux services... si tant est que le citoyen soit moteur de ces transformations et les pouvoirs publics attentifs aux risques via des programmes d'évaluation et de surveillance et des politiques de prévention notamment à l'attention des publics les plus fragiles à ces expositions. Dans cette perspective, l'Anses a engagé une évaluation des impacts de l'usage du numérique sur la santé des enfants et adolescents, distincte et complémentaire des travaux qu'elle mène dans le champ de l'impact sanitaire des expositions aux ondes électromagnétiques.

Références

- [1] Anses. Exposition aux champs électromagnétiques liée au déploiement de la technologie « 5G ». Avis actualisé de l'Anses [En ligne]. Maison-Alfort : Anses; 2022. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2019SA0006RA-2.pdf>
- [2] Demortain D, Féron A. Les risques du déploiement. L'émergence d'une controverse sur la 5G en France. Laboratoire Interdisciplinaire Sciences Innovations Sociétés; 2020.
- [3] Agence nationale de la cohésion des territoires. France Mobile [En ligne]. 2022 (cité le 26 avril 2022) Disponible sur : <https://agence-cohesion-territoires.gouv.fr/france-mobile-54>
- [4] Arcep. 5G. Une feuille de route ambitieuse pour la France [En ligne]. 2018. (cité le 26 avril 2022) Disponible sur : <https://www.arcep.fr/actualites/actualites-et-communiqués/détail/n/la-france-se-dote-d'une-feuille-de-route-pour-la-5g-et-lance-quatre-chantiers-prioritaires.html>
- [5] [Grange D, Host S. Radiofréquences, santé et société [En ligne]. Paris : ORS Île-de-France; 2009. Disponible sur : https://www.ors-idf.org/fileadmin/DataStorageKit/ORS/Etudes/2009/Etude2009_12/radiofréquences_1_.pdf
- [6] ANFR. Etude de l'exposition du public aux ondes radioélectriques. Simulation de l'évolution de l'exposition du public créée par la téléphonie mobile en zone urbaine très dense (Paris XIV) Rapport d'étape. 2020.
- [7] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 1998.
- [8] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz) [En ligne]. Health Phys 2020;118:483–524. Disponible sur : <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>.
- [9] Afsset. Les radiofréquences - Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences [En ligne]. 2009. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2007et0007Ra.pdf>
- [10] Anses. Radiofréquences et santé. Mise à jour de l'expertise. Avis de l'Anses [En ligne]. Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail; 2013. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2011sa0150Ra.pdf>
- [11] Anses. Exposition aux radiofréquences et santé des enfants. Maison-Alfort : Anses; 2016. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2012SA0091Ra.pdf>
- [12] Anses. Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques [En ligne]. Anses; 2018. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2011SA0150Ra.pdf>
- [13] Ministère de la transition écologique. Comité de la prévention et de la précaution (CPP). Santé publique et environnement numérique [En ligne]. 2022 disponible https://cpp.alerte-sante-environnement-deontologie.fr/IMG/pdf/cpp_-_sante_publique_et_environnement_numerique_-_2022.pdf
- [14] Chazelle E, Chan-Chee C, Fouquet N. Incidence et évolution de la lombalgie selon la situation de travail pendant le confinement lié à l'épidémie de Covid-19, du 17 mars au 10 mai 2020, en France métropolitaine [En ligne]. Bull Epidemiol Hebd. 2020;(26):512-21. Disponible sur : http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2020/26/2020_26_1.html
- [15] Bailly C. Inclusion numérique : panorama des dispositifs en Île-de-France. Paris (France): Institut Paris Region; 2022. Disponible sur : <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/inclusion-numerique/>
- [16] n Île-de-France : des progrès importants, mais inégalement répartis. In: Les Franciliens, territoires et modes de vie [En ligne], editor. L'Institut Paris Region. Paris : Observatoire régional de santé (ORS) Île-de-France; 2021. Disponible sur : <https://www.institutparisregion.fr/societe-et-habitat/lesperance-de-vie-en-ile-de-france-des-progres-importants-mais-inegalement-repartis>
- [17] Ademe. Guide pratique. Au quotidien, la face cachée du numérique [En ligne]. 2019 Disponible sur : <https://librairie.ademe.fr/cadic/2351/guide-pratique-face-cachee-numerique.pdf?modal=false>
- [18] Zayoud A, Matulonga Diakiese B. Effets des écrans sur le sommeil des adolescents : Résultat de l'enquête du Réseau Morphée auprès des collégiens et lycéens franciliens [En ligne]. Paris : ORS Île-de-France; 2020. Disponible sur : <https://www.ors-idf.org/nos-travaux/publications/effets-des-ecrans-sur-le-sommeil-des-adolescents/>
- [19] Haut Conseil pour le Climat. Maîtriser l'impact carbone de la 5G [En ligne]. Haut Conseil pour le Climat; 2020. Disponible sur : <https://www.hautconseilclimat.fr/publications/maitriser-limpact-carbone-de-la-5g/>
- [20] Filières infrastructures numériques. Faire de la 5G un atout pour le secteur de la santé. 2021.
- [21] Dubreuil M. E-Santé. Décryptage des pratiques et des enjeux [En ligne]. Paris : ORS Île-de-France; 2019. Disponible sur : https://www.ors-idf.org/fileadmin/DataStorageKit/ORS/Etudes/2019/iSante/ORS_FOCUS_e_sante.pdf
- [22] Ferreboeuf H, Efoui-Hess M, Verne X. Impact environnemental du numérique et gouvernance de la 5G. The Shift Project; 2021.
- [23] Dany Nguyen-Luong. Expérimentation et déploiement du véhicule autonome en Île-de-France : le rôle facilitateur des pouvoirs publics [En ligne]. Paris : L'Institut Paris Region; 2019.

Disponible sur : <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/experimentation-et-deploiement-du-vehicule-autonome-en-ile-de-france/>

[24] Forti V, Baldé CP, Kuehr R, Bel G. Suivi des déchets d'équipements électriques et électroniques à l'échelle mondiale pour 2020 : quantités, flux et possibilités offertes par l'économie circulaire [En ligne]. Bonn/Genève/Rotterdam: Université des Nations Unies (UNU)/Institut des Nations Unies pour la formation et la recherche (UNITAR) – Programme SCYCLE co-administré par l'Union internationale des télécommunications (UIT) et l'Association internationale des déchets solides (ISWA); 2020.

Disponible sur :

https://collections.unu.edu/eserv/UNU:7819/GEM_2020_French_final_pages.pdf

[25] Bordage F, de Montenay L, Vergeynst O. Etude "iNum". Impacts environnementaux du numérique en France [En ligne]. Green IT; 2021.

Disponible sur : <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/02/2021-01-iNum-etude-impacts-numerique-France-rapport-0.8.pdf>

[26] Diguët C, Lopez F, Lefevre L. Les impacts énergétiques et spatiaux des data centers sur les territoires [En ligne]. Paris : L'Institut Paris Region; 2019. (Notes rapides;828)

Disponible sur : <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/les-impacts-energetiques-et-spatiaux-des-data-centers-sur-les-territoires/>

[27] Rapport final. Convention citoyenne pour le climat [En ligne]. 2021

Disponible sur :

<https://propositions.conventioncitoyennepourleclimat.fr/le-rapport-final/>

[28] Agence nationale de la cohésion des territoires. Antennes relais. Guide pratique pour l'intégration paysagère et la prise en compte des enjeux de biodiversité [En ligne]. 2022.

Disponible sur : <https://agence-cohesion-territoires.gouv.fr/antennes-relais-guide-pratique-pour-lintegration-paysagere-et-la-prise-en-compte-des-enjeux-de-867>

[29] DGE, ARCEP, ANFR, Anses, ANCT, Ministère des Solidarités et de la Santé, et al. L'essentiel sur la 5G. Guide à destination des élus [En ligne]. Secrétariat d'État chargé de la Transition numérique et des Communications électroniques; 2020.

Disponible sur :

https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2020/Brochure_5G_WEB.PDF

[30] Conférence citoyenne métropolitaine sur la 5G. Rapport final [En ligne]. 2020.

Disponible sur :

<https://cdn.paris.fr/paris/2021/01/07/dfd87246463fda12db3debff6f996997.pdf>

[31] Paris et les opérateurs de téléphonie mobile trouvent accord sur le déploiement de la 5G [En ligne]. 2021.

Disponible sur : <https://www.paris.fr/pages/paris-et-les-operateurs-de-telephonie-mobile-trouvent-un-accord-sur-le-dploiement-de-la-5g-16817>

[32] Ademe. En route vers la sobriété numérique [En ligne]. 2022.

Disponible sur : <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/5086-en-route-vers-la-sobriete-numerique-9791029718755.html>

[33] Ministère de l'économie, des finances et de la relance. Feuille de route. Numérique et environnement, faisons converger les transitions [En ligne]. 2021.

Disponible sur :

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Feuille_de_route_Numerique_Environnement.pdf

CONSIDÉRATIONS SANITAIRES LIÉES AU DÉPLOIEMENT DE LA 5G EN ÎLE-DE-FRANCE

L'essentiel de l'étude

- S'agissant des expositions aux champs électromagnétiques, dans des bandes de fréquences 700 MHz - 2,1 GHz et 3,5 GHz, il est peu probable que le déploiement de la 5G entraîne de nouveaux risques pour la santé. Dans la bande 26 GHz, les données actuelles ne sont pas suffisantes pour conclure à l'existence ou non d'effets sanitaires ;
- En matière de surveillance des expositions, il est nécessaire de poursuivre la production de données et notamment suivre l'évolution de l'exposition des populations au fil du déploiement de la 5G et de la montée en charge de son utilisation ;
- La 5G participe à l'accélération de la transformation numérique de la société, avec des conséquences prévisibles sur l'environnement et la santé ainsi que sur le fonctionnement de la société (risque d'accentuation des inégalités) qu'il faut minimiser ;
- L'impact de l'intensification des usages du numérique sur la santé des enfants et des adolescents requiert une attention particulière ;
- Le déploiement de la 5G pourrait constituer une réelle opportunité pour les territoires à condition de placer le citoyen au cœur de cette transformation et de rester vigilant quant aux risques potentiels directs et indirects.

Nous remercions Olivier Merckel de l'Anses pour sa relecture précise et attentive.

Nous remercions aussi Daniel Thépin, Marie-Laure Falque-Masset, Florian Lacombe et Dany Nguyen-Luong, respectivement des départements Economie, Energie, Déchet et Mobilité de L'Institut Paris Region, pour leurs apports sur les enjeux connexes liés au déploiement de la 5G et du numérique et l'enrichissement de nos réflexions.



Financé par



Observatoire régional de santé Île-de-France

15 rue Falguière - 75015 PARIS - Tél. (33) 01 77 49 78 60 - www.ors-idf.org

Président : Dr Ludovic Toro - Directrice de la publication : Dr. Isabelle Grémy

L'ORS Île-de-France, département de L'Institut Paris Region, est un observatoire scientifique indépendant financé par l'Agence régionale de santé et le Conseil régional d'Île-de-France.

ISBN 978-2-7371-2168-5