

Plan d'investissement dans les compétences

EDEC Infrastructures numériques

2021.10 – Etude prospective des besoins en emplois et compétences dans la filière des infrastructures du numérique à l'horizon 2030

Lot 1 : Segmentation du marché et marchés émergents Rapport final - juillet 2022

À l'attention de la

Direction des partenariats et des relations institutionnelles de l'Afdas

1. Synthèse	5
2. Introduction	7
3. Infrastructures filaires	8
3.1. Déploiements FTTH.....	8
3.1.1. Une accélération depuis 2018	8
3.1.2. Vers une couverture quasi-complète à l'horizon 2025	8
3.1.3. Perspectives détaillées et chiffrées de déploiements FTTH à l'horizon 2030	9
3.1.4. Un rythme très soutenu pour les raccordements finaux.....	10
3.2. Décommissionnement du cuivre	10
4. Infrastructures sans fil	12
4.1. 4G.....	12
4.1.1. Le New Deal Mobile.....	12
4.1.2. Perspectives de déploiements de sites 4G	14
4.2. 5G.....	16
4.2.1. Contexte réglementaire : Un cadre réglementaire qui favorise l'investissement et le déploiement rapide	16
4.2.2. Aspects techniques.....	18
4.2.3. Contexte économique et environnemental.....	29
4.2.4. Demande et usage en services numériques.....	33
4.2.5. Perspectives de déploiements de sites 5G	35
4.3. Extinction des réseaux 2G et 3G	37
5. Réseaux hybrides et problématiques transverses.....	38
5.1. Les réseaux mobiles privés	38
5.1.1. La 5G industrielle.....	40
5.1.2. Perspectives de déploiements de sites 5G dans la bande 26 GHz	45
5.2. IoT.....	46
5.2.1. Définition.....	46
5.2.2. Aspects techniques.....	46
5.2.3. Cas d'usages	49
5.2.4. Perspectives de déploiements des réseaux IoT	50
5.3. Territoires connectés	52
5.3.1. Définition.....	52
5.3.2. Thématiques et cas d'usage des territoires intelligents	52
5.3.3. Choix technologiques pour les territoires intelligents	53
5.3.4. Parties prenantes.....	54
5.3.5. Quel modèle ?	55
5.3.6. Opportunités et problématiques engendrées par les territoires connectés	58
5.3.7. Perspectives de déploiements des territoires connectés	59
5.4. Datacenters.....	61
5.4.1. Chaîne de valeur et typologie des datacenters.....	61
5.4.2. Taille et géographie du marché	62
5.4.3. Perspectives de déploiements des datacenters.....	63
5.5. Cybersécurité.....	65
6. Annexes	67
6.1. Bibliographie	67
6.2. Liste des entretiens réalisés	69
6.3. Guide d'entretien.....	70
6.4. Méthode de travail pour établir les prévisions	73

Liste des figures :

Figure 1 : Déploiements FTTH par zone géographique en 2020 et 2021 (millions de prises)	8
Figure 2 : Déploiements FTTH par zone géographique sur la période 2020-2030 (millions de prises)	9
Figure 3 : Evolution du parc de prises FTTH en France (à fin d'année).....	10
Figure 4 : Les étapes du chantier de décommissionnement du cuivre.....	11
Figure 5 : Avancées du new deal mobile	12
Figure 6 : Nombre de zones identifiées par opérateur et arrêté dans le cadre de la couverture 4G ciblée	13
Figure 7 : Déploiement des sites-opérateurs 4G sur la France entière (parc à fin d'année, en milliers de sites) 15	
Figure 8 : Prix des licences 3,5 GHz en Euros / Mhz / Hab.....	16
Figure 9 : Obligations de déploiement des opérateurs	17
Figure 10 : Sites 5G déployés dans la bande 3,5 GHz par opérateur	17
Figure 11 : Axes de développement de la 5G.....	18
Figure 12 : Caractéristiques comparées des fréquences en bande basse, bande moyenne et bande millimétrique pour l'usage 5G.....	19
Figure 13 : Nombre de sites 5G opérationnels par opérateur	20
Figure 14 : Modes de déploiement du réseau 5G.....	21
Figure 15 : Calendrier de déploiement de la 5G	22
Figure 16 : Architecture Open RAN	23
Figure 17 : Architecture vRAN	24
Figure 18 : L'edge computing - Des objectifs communs, plusieurs concepts.....	25
Figure 19 : L'edge computing - Périmètre et localisation.....	26
Figure 20: Infrastructure edge cloud au sein d'un réseau opérateur	26
Figure 21 : Initiatives phares en matière d'edge computing en France	28
Figure 22 : Prix des forfaits 5G	29
Figure 23 : Evolution des investissements dans les boucles locales très haut débit mobile (4G/5G)*, en milliards d'euros.....	30
Figure 24 : Consommation énergétique des réseaux mobiles par génération	31
Figure 25 : Pourcentage d'émissions de GES du secteur numérique au niveau mondial.....	32
Figure 26 : Evolution du parc actif 4G (millions de clients).....	33
Figure 27 : Evolution du trafic 4G (millions de To) et de la consommation moyenne par abonné (Go par mois) 33	
Figure 28: Part des dépenses 5G à horizon 2027 captées par les entreprises françaises suivant les scénarios d'évolution de l'offre et de la demande	34
Figure 29 : Déploiement des sites-opérateurs 5G en 3,5 GHz sur la France entière (parc à fin d'année, en milliers de sites).....	36
Figure 30 : Déploiement des sites-opérateurs 5G en 26 GHz sur la France entière (parc à fin d'année, en milliers de sites).....	36
Figure 31 : Synthèse comparative des solutions pour réseaux mobiles privés	38
Figure 32 : Evolution à 10 ans des parts de marché de différentes solutions de réseaux mobiles privés	39
Figure 33 : Les facteurs clés de succès dans la chaîne de valeur des RMP	39
Figure 34 : Architecture de réseau mobile professionnel s'appuyant sur le « network slicing »	40
Figure 35 : Architecture de réseau mobile professionnel privé dédiée « sur site »	40
Figure 36 : Architecture de réseau mobile professionnel hybride avec le cœur de réseau distant du site radio de l'entreprise	41
Figure 37 : Analyse comparée des réseaux privés et publics	41
Figure 38 : L'accès aux fréquences par les industriels	42
Figure 39 : Projets de plateformes d'expérimentation des usages 5G soutenues dans le cadre du plan France relance et de la stratégie d'accélération sur la 5G.....	43
Figure 40: Cas d'usage industriels de la 5G identifiés par la SNCF	44
Figure 41 : Déploiement des sites privés 5G (parc à fin d'année, en milliers de sites)	45
Figure 42 : Chaîne de valeur IoT.....	46
Figure 43 : Chaîne de valeur IoT - détail.....	47
Figure 44 : Technologies réseaux IoT	48

Figure 45 : Différents cas d'usage identifiés pour l'IoT	49
Figure 46 : Objets connectés en France par verticale (parc à fin d'année, en millions)	50
Figure 47 : Objets connectés en France par technologie (parc à fin d'année, en millions).....	51
Figure 48 : Cas d'usage liés aux territoires intelligents.....	52
Figure 49 : Eléments techniques des réseaux de territoires intelligents.....	53
Figure 50 : Cartographie des parties prenantes du territoire intelligent.....	55
Figure 51 : Chaîne de valeur des territoires intelligents.....	56
Figure 52 : Dijon, exemple emblématique de l'approche globale	57
Figure 53 : Collectivités territoriales portant des projets de territoire connecté, par niveau de maturité (collectivités de plus de 3 500 habitants, en milliers).....	59
Figure 54 : Budget annuel consolidé des projets de territoires connectés (millions d'euros).....	60
Figure 55 : Typologies des acteurs de l'écosystème autour des datacenters	61
Figure 56 : Différents types d'hébergeurs	62
Figure 57 : Surfaces IT des datacenters par catégorie (milliers de m ²).....	64
Figure 58 : Surface d'exposition des entreprises aux cyber-risques	66

1. Synthèse

Ce document constitue le rapport final provisoire de l'étude sur les perspectives de marchés liées au déploiement d'infrastructures numériques en France, étude elle-même réalisée en amont de l'analyse prospective des besoins en emplois et compétences dans la filière des infrastructures du numérique à l'horizon 2030.

Basé sur l'analyse documentaire de nombreuses publications et sur des premiers entretiens avec des professionnels de la filière (cf bibliographie et liste de contacts en annexe), celui-ci présente les grandes tendances sur les chantiers en cours et à venir en matière de déploiement de réseaux, fixes et mobiles, les enjeux liés à ces déploiements, les évolutions des écosystèmes, etc. Il dessine également un certain nombre de facteurs susceptibles d'accélérer ou au contraire de freiner le rythme des déploiements.

Ces inducteurs, accélérateurs ou freins, ont été traduits sous forme d'options, dont nous avons retenu, en nous appuyant sur les retours des entretiens et des séances de travail avec le comité technique, les positionnements jugés les plus probables. Ces choix ont eux-mêmes constitué les hypothèses sur lesquelles nous avons travaillé pour établir des prévisions, en volume ou en valeur, à l'horizon 2030 sur chacun des chantiers de déploiement (ou de dépose) identifiés. Ces prévisions ont été déclinées année par année, l'année 2025 apparaissant dans un certain nombre de cas comme une année charnière.

Au terme de cet exercice, nous avons pu dessiner les tendances suivantes :

- Un chantier de construction de prises FTTH qui se poursuit à rythme élevé au cours des deux-trois prochaines années et qui, au-delà, continue d'être actif à travers l'objectif de couverture à quasi-100% du territoire mais surtout à travers la dynamique « démographique » des locaux, créant des besoins continus de densification ;
- Des parcs d'abonnés FTTH qui augmentent également très rapidement, bénéficiant en outre, au-delà de 2025 du décommissionnement du cuivre et, partant, de besoins de remplacement y compris pour des connexions destinées à la voix uniquement ;
- Le chantier de décommissionnement du cuivre précisément qui prévoit, après les phases de fermeture commerciale puis technique, une dépose des réseaux existants là où cela est techniquement possible et pertinent ; toutefois, cette dernière phase ne devrait pas débuter de façon massive avant 2027-2028 ;
- Une poursuite d'installations 4G, à la fois pour finaliser les engagements pris dans le cadre du New Deal mobile (couverture ciblée notamment) mais aussi pour assurer les propres programmes de densification des opérateurs ;
- La montée en charge rapide des déploiements 5G, notamment dans les bandes 3,5 GHz et 700-800 MHz, dans le respect des obligations des licences, voire en légère avance de phase (bande 3,5 GHz), et des obligations de couverture dans les zones peu denses (bandes basses) ; dans les bandes hautes ou millimétriques (26 GHz), les déploiements des opérateurs, dont les conditions réglementaires ne sont pas connues à la rédaction de ce rapport, démarreront plus tard et, surtout, devraient être plus progressifs ;
- La perspective de déploiements de réseaux mobiles privés 5G, au-delà des expérimentations 5G industrielle, dans diverses bandes (2.6 GHz, 3.8 GHz, 26 GHz...), notamment pour les établissements les plus importants (sites de plus de 500 personnes)
- La poursuite du développement du parc IoT (doublement en 10 ans), avec une lente progression des solutions portées par des technologies cellulaires et, à l'intérieur de ces dernières, une montée en charge de la 5G ;

- La marché vers la maturité des villes connectées, avec la perspective à 2030 d'une participation de toutes les collectivités locales et territoriales de plus de 3 500 habitants, à un niveau ou un autre d'implication (expérimentation, passage à l'échelle, stratégie globale)
- La transformation du marché des datacenters, avec la forte montée en charge des systèmes cloud au détriment des solutions propriétaires et les besoins nouveaux en edge computing, notamment en accompagnement des infrastructures 5G.

2. Introduction

Les infrastructures numériques, tant filaires que sans fil, ont connu des bouleversements sans précédent au cours des trente dernières années, offrant des débits toujours plus élevés et des usages de plus en plus avancés.

Pour ce qui est des technologies filaires, l'avènement et la généralisation progressive depuis une dizaine d'années des réseaux d'accès FTTH, portés par le plan France Très Haut Débit, placent aujourd'hui le pays dans le peloton de tête en la matière sur le plan international. Avec une couverture de 70% début 2022 sur le périmètre France entière (78% de locaux éligibles au THD sur réseaux filaires plus largement), il pourrait rester selon nos estimations entre 12 et 13 millions de prises FTTH à construire au cours des 4 prochaines années. Dans le même temps, le réseau historique en cuivre va devoir être décommissionné : Orange a récemment indiqué que la fermeture technique des accès commutés devait avoir lieu entre 2026 et 2030.

Dans les technologies sans fil, les réseaux mobiles 4G sont maintenant déployés à grande échelle, même s'il reste des efforts à faire pour élargir la couverture à un certain nombre de zones blanches. L'attention est plus largement portée désormais aux déploiements de réseaux 5G, porteurs de promesses à haute valeur sur le plan technique (plus de débit mais aussi et surtout des fonctionnalités avancées à travers l'usage massif et la réduction de la latence). Ces caractéristiques modifient en particulier les enjeux autour d'applications, telles que l'IoT ou les territoires connectés.

Dans un cas comme dans l'autre, l'intérêt évident en termes d'usages de ces nouveaux réseaux, devenus aussi essentiels que l'énergie électrique ou l'eau, ne doit pas occulter un certain nombre de contraintes, économiques tout d'abord et potentiellement sanitaires et environnementales, voire politiques et réglementaires (ces dernières pouvant aussi à l'inverse agir comme leviers).

A travers ces différents facteurs d'évolution, quelquefois facteurs de rupture, nous avons dessiné des tendances pour chacun des chantiers de déploiements identifiés et quantifié sur la base des options les plus probables.

3. Infrastructures filaires

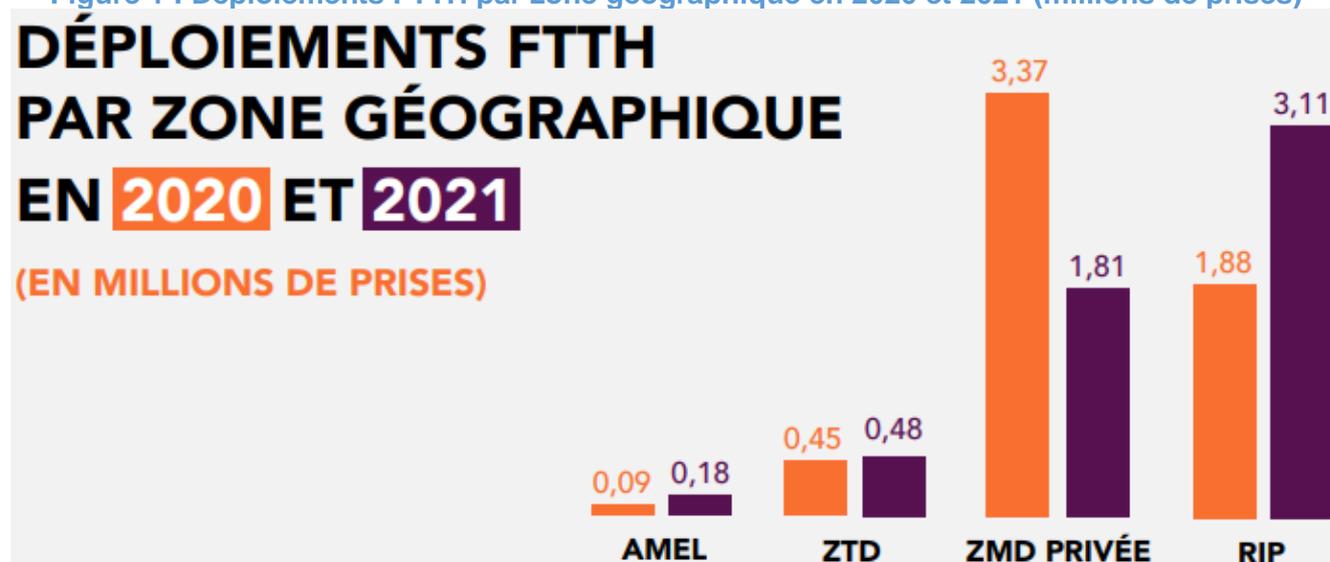
3.1. Déploiements FTTH

3.1.1. Une accélération depuis 2018

Entre fin 2017 et fin 2021, le parc de prises FTTH en France a triplé, passant de 10,3 millions à 30,4 millions en seulement quatre ans. A la fin de l'an passé, le taux de couverture sur l'ensemble du territoire était ainsi proche de 74%, très élevé dans les zones très denses (93%) et, dans une moindre mesure, dans les zones moins denses d'initiative privée (84%).

Dans les zones moins denses d'initiative publique (ex zones RIP), il franchit le seuil des 50% mais c'est bien sûr là que l'essentiel de l'effort reste à faire. Sur les 13,7 millions de prises prévues d'être construites au cours des 4 prochaines années (2022-2025), près des deux tiers doivent l'être dans ces dernières, qui cumulent désormais RIP (Réseaux d'Initiative Publique) et AMEL (Appel à Manifestation d'Engagement Local).

Figure 1 : Déploiements FTTH par zone géographique en 2020 et 2021 (millions de prises)



Source : Infranam, Observatoire du Très Haut Débit 2022

3.1.2. Vers une couverture quasi-complète à l'horizon 2025

Compte tenu des contrats engagés, l'incertitude sur les volumétries est désormais réduite. A l'horizon 2025, la quasi-intégralité du pays sera couverte. Reste une interrogation autour de raccordements nécessitant un accompagnement ciblé, qui concerneraient environ 5% du total et qui recouvrent différentes réalités : raccordements à la demande (1%), raccordements « non standards » (1%) ou « non raccordables » (3%). Sur les 570 millions d'euros du Plan de Relance que le gouvernement français a prévu de dédier au renforcement du plan France Très Haut Débit, 150 millions sont précisément destinés à financer la création de génie civil manquant en domaine public sur des raccordements dits « complexes » dans les RIP ; certains observateurs considèrent que ce ne sera malgré tout pas suffisant pour tenir les engagements et que l'objectif de généralisation de la fibre à

l'horizon 2025 ne saurait être atteint intégralement. Les acteurs de la filière entrevoient généralement une couverture entre 96% et 98% à cette date.

Au-delà, la construction de prises dans des zones non couvertes devrait se poursuivre, du fait notamment de l'extinction programmée du réseau cuivre (voir ci-après). Si Orange précise, dans son plan soumis à l'ARCEP¹, que le basculement, pourrait se faire, en l'absence à certains endroits d'accès FTTH, vers des solutions alternatives (en entorse à la perspective dessinée par l'ARCEP d'une substitution totale du réseau historique cuivre par la fibre), cela ne saurait concerner que des cas extrêmes, selon la plupart de nos interlocuteurs : « là où il n'y a ni électricité ni eau », précise un spécialiste. L'ARCEP, qui estime de son côté que 2% des locaux ne seraient pas éligibles à l'accès via les réseaux terrestres, pourra revenir sur ce point à l'occasion de ses analyses de marchés.

Restera également à raccorder, au-delà de 2025, les locaux nouvellement installés (au rythme actuel de 1,1% de nouveaux logements et locaux construits ou aménagés chaque année, cela représente un potentiel de près de 2,5 millions de nouvelles prises pour la période 2026-2030) et à assurer bien sûr la maintenance de l'ensemble du réseau.

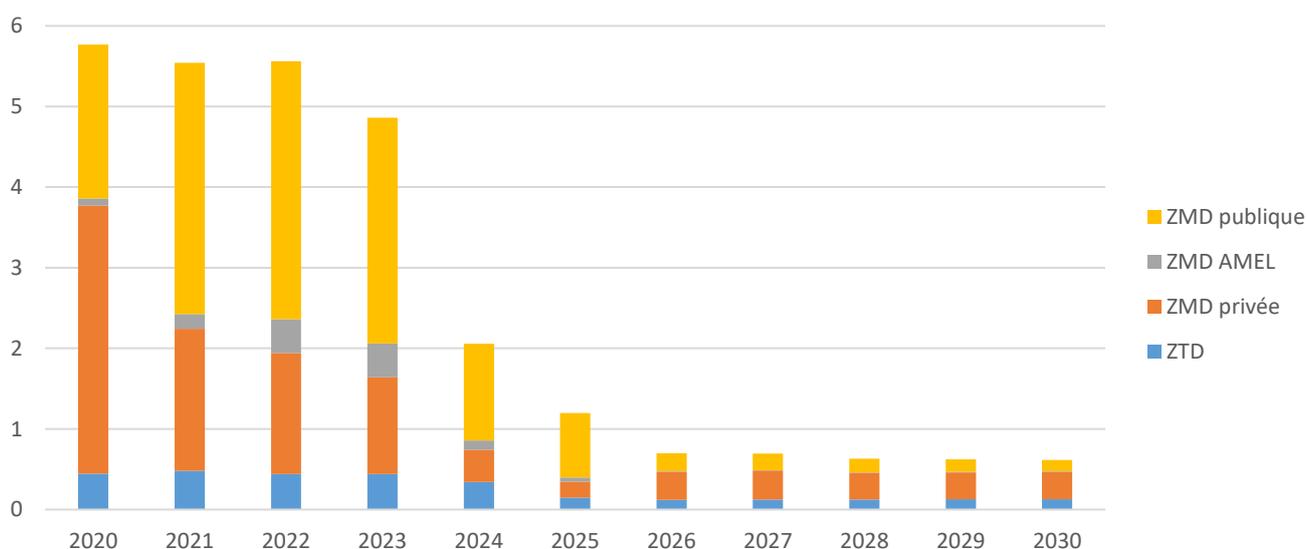
3.1.3. Perspectives détaillées et chiffrées de déploiements FTTH à l'horizon 2030

Sur la base des différents échanges, nous avons retenu le scénario suivant :

- Une couverture FTTH sur 98% des locaux à l'horizon 2025, avec un rythme de déploiement qui se poursuit à haut rythme en début de période (rejoignant en cela les perspectives tracées par Infranum dans la dernière livraison de son observatoire)
- Une poursuite des déploiements au-delà de cette période (en plus des déploiements liés à la croissance du parc de locaux) pour atteindre un quasi-100% à l'horizon 2030, en cohérence avec le plan d'arrêt du cuivre.

Dès lors, ce sont quelque 16,9 millions de prises qui seraient construites au cours de la période 2020-2030, dont environ 10 millions dans les ZMD AMEL et ZMD publique (ex-RIP).

Figure 2 : Déploiements FTTH par zone géographique sur la période 2020-2030 (millions de prises)



Source : IDATE, d'après Infranum, Observatoire du Très Haut Débit 2022 (prévisions à 2025)

¹ « Plan de fermeture du réseau de boucle locale cuivre d'Orange », en cohé

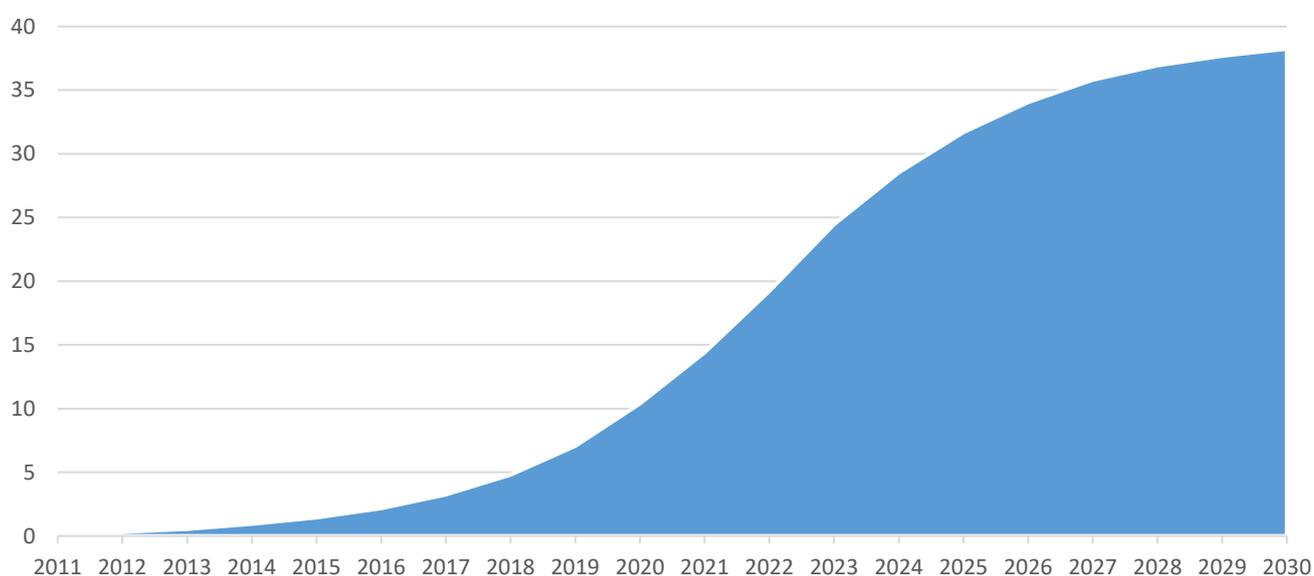
3.1.4. Un rythme très soutenu pour les raccordements finaux

Le taux de transformation² du FTTH en France progresse régulièrement. A fin 2021, il était proche de 50% (48,5%), en progression de 20 points en cinq ans, le parc d'abonnés progressant logiquement plus vite que la couverture (effet d'entraînement). En 2020, l'ARCEP a recensé 3,3 millions de nouveaux abonnés FTTH et pour 2021, l'augmentation du parc devrait avoisiner 4 millions, pour un total de 14,4 millions d'abonnés à fin d'année.

Le rythme devrait continuer d'être soutenu au cours des prochaines années, d'autant que la perspective de fermeture du réseau cuivre va, au-delà de la tendance naturelle, contraindre, entre 2026 et 2030, les derniers abonnés RTC ou ADSL à basculer vers des accès FTTH (ou des solutions THD alternatives pour ceux qui se trouveraient dans des zones non couvertes).

On peut ainsi estimer, sur une base de 38 millions de lignes fixes actives, que plus de 23 millions d'abonnés aux services fixes bas ou haut débit doivent encore migrer vers le FTTH d'ici à la fin de la décennie, soit plus de 2,5 millions par an en moyenne.

Figure 3 : Evolution du parc de prises FTTH en France (à fin d'année)



Source : ARCEP (données historiques), IDATE (prévisions)

Le rythme devrait, sur la lancée des deux dernières années, rester particulièrement fort à l'horizon 2025, avec le transfert de plus de 17 millions d'abonnés fixes vers la fibre au cours de la période (2022-2025). Près de 6 millions de nouveaux raccordements à la fibre devraient encore être enregistrés dans les cinq années suivantes, résultant de trois phénomènes : la poursuite de la montée en charge dans les zones couvertes (à un rythme mécaniquement ralenti), les raccordements dans les nouvelles zones, enfin, les raccordements liés à l'arrêt du cuivre.

3.2. Décommissionnement du cuivre

Orange s'est engagé fin 2019 à décommissionner totalement son réseau historique cuivre d'ici la fin de la décennie. Le calendrier a été précisé récemment, l'opération devant se dérouler en deux temps :

- d'abord, une fermeture commerciale dans les zones où les quatre opérateurs nationaux (Orange lui-même, SFR, Bouygues Telecom et Free) ont installé la fibre. Dans ces zones, aucun

² En anglais *take up rate*, le taux de transformation correspond au % d'abonnés sur la population éligible.

nouvel abonné ne pourra souscrire une offre ADSL ;

- ensuite, la fermeture technique est programmée à partir de 2026 et s'étalera jusqu'en 2030. Durant cette période, les abonnés ADSL devront migrer vers des offres fibre là où elles sont disponibles (sinon vers des offres d'accès très haut débit alternatives) et dès lors que la migration d'une « plaque » sera complète, le réseau cuivre pourra y être éteint et démantelé. Des sites expérimentaux (7 villes au total à l'heure actuelle) sont d'ores et déjà en cours de fermeture et permettent de tester les procédures.

Ce chantier est d'autant plus gigantesque que le réseau cuivre d'Orange compte près de 42 millions de lignes.

Figure 4 : Les étapes du chantier de décommissionnement du cuivre

	fermeture commerciale		fermeture technique		estimation volume de locaux par lot	volume total cumulé locaux fermés		
	annonce FC	date FC	annonce FT	date FT		en nb locaux	% cumulé	
phase de transition	1ère expérimentation	16 juillet 2020	10 novembre 2020	16 juillet 2020	31 mars 2021	700	<1k	0,0%
	2nde expérimentation	31 juillet 2021	31 mars 2022	31 juillet 2021	31 janvier 2023	15k	16k	0,0%
	lot annuel fin 2023	T1 2022	novembre 2022	T1 2022	novembre 2023	170k	0,2M	0,4%
	lot annuel fin 2024	T1 2022	novembre 2023	T1 2022	novembre 2024	450k	0,6M	1,5%
	lot annuel fin 2025	juin 2022	novembre 2024	juin 2022	novembre 2025	1,9M	2,5M	6,0%
phase de fermeture	lot annuel fin 2026			fin 2023	fin 2026	3,8M	6,3M	15%
	lot annuel fin 2027			fin 2024	fin 2027	6,3M	12,5M	30%
	lot annuel fin 2028	juin 2022	janvier 2026	fin 2025	fin 2028	8,4M	20,9M	50%
	lot annuel fin 2029			fin 2026	fin 2029	10,5M	31,4M	75%
	lot annuel fin 2030			fin 2027	fin 2030	10,5M	41,8M	100%

Source : Plan de fermeture du réseau boucle locale cuivre d'Orange

Orange indique par ailleurs, dans le document mis en consultation par l'ARCEP, qu'il prévoit, une fois le réseau fermé techniquement, de le démonter systématiquement « sauf dans des conditions qui ne permettraient pas une dépose dans des conditions technique ou économique raisonnables ». La dépose concernera non seulement les câbles cuivre mais aussi les équipements techniques, au niveau des NRA notamment, lorsque ceux-ci n'auront pas été réutilisés pour d'autres services, FttH en particulier. A noter encore que les opérateurs commerciaux clients des offres de dégroupage d'Orange devront eux aussi se charger de démonter et récupérer leurs équipements.

Ces opérations de dépose seront cependant organisées selon un calendrier logiquement décalé par rapport à celui des fermetures techniques (allant donc au-delà de 2030 selon l'agenda actuel du plan de fermeture) et à des rythmes qui pourront varier selon les zones.

Orange n'a pas encore de recul suffisant (seule l'expérimentation de Lévis Saint-Nom, portant sur environ 700 logements, est achevée à mi-2022) pour préciser les modalités de dépose du cuivre mais, des échanges avec l'opérateur, il ressort que :

- la dépose portera, comme indiqué dans le document de consultation, sur l'ensemble des câbles, sous réserve de conditions technique ou économique « raisonnables » pour ce faire. On peut faire l'hypothèse que les câbles enfouis en pleine terre notamment pourraient ainsi rester à l'écart de ces opérations de démontage, y compris pour des raisons environnementales (recours à des gros engins pour ce type de travail le cas échéant),
- la variété des conditions de dépose, qui ne pourront être appréhendées plus clairement qu'après la fermeture technique des deux premiers lots, repousse le début des opérations de dépose massive et industrielle au plus tôt à 2027-2028,
- il n'est pas prévu par ailleurs, à ce stade, de d'intervenir sur la fibre (sauf éventuels problèmes d'« auto-portage » pour les poteaux, dès lors que le cuivre serait retiré). En l'occurrence, les éventuels travaux de remise à niveau de la fibre relèveraient de chaque OI FTTH,
- le réseau national de cuivre est long de 1,1 million de km de câbles et, pour la partie en aérien, porté par 14,6 millions de poteaux à fin 2021.

4. Infrastructures sans fil

4.1. 4G

4.1.1. Le New Deal Mobile

Le New Deal Mobile est un accord signé en 2018 entre le Gouvernement et l'ARCEP d'un côté et les 4 principaux opérateurs de téléphonie mobile de l'autre. Le principe de l'accord est qu'en contrepartie d'une visibilité et d'une stabilité sur les fréquences jusqu'en 2030 pour les opérateurs, ces derniers acceptent un certain nombre d'engagements contraignants pour accélérer et compléter la couverture numérique du territoire.

Cet accord a été conclu dans le cadre du renouvellement des fréquences historiques de la 2G, 3G et 4G (900 MHz, 1800 MHz et 2,1 GHz), dont les autorisations arrivaient à échéance à compter de 2021. La réattribution sans enchères, pour 10 ans, de ces licences, est assortie de nouvelles obligations visant à :

- généraliser la 4G sur l'ensemble des sites en propre des opérateurs avant fin 2020
- généraliser la 4G sur les sites multi-opérateurs issus des anciens programmes zones blanches (Zones blanches-centres bourgs) d'ici fin 2022
- couvrir 5 000 nouvelles zones par opérateur identifiées par les élus de terrain au sein d'équipes projets locales d'ici fin 2027
- Accélérer la couverture 4G le long de 55 000 km d'axes routiers prioritaires (autoroutes, routes principales ou tronçons très fréquentés) et du réseau ferré régional (TER hors Ile de France et Corse, RER, trains du réseau de chemins de fer de la Corse)

Au 31 décembre 2021, 4 ans après la signature de l'accord, les avancées sont nombreuses et, au-delà des opérateurs qui montrent et réaffirment leur engagement, la plupart des observateurs et experts s'accordent également à reconnaître le bon fonctionnement du dispositif.

Figure 5 : Avancées du new deal mobile

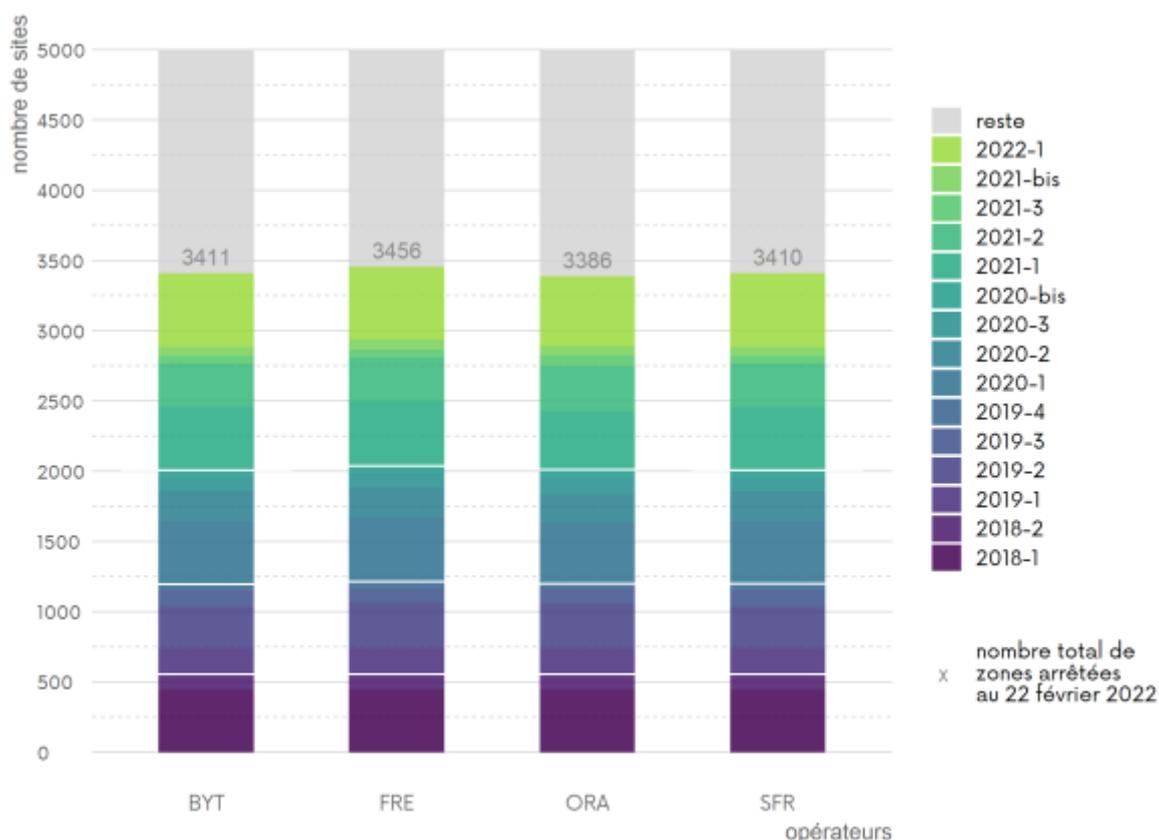


Source: Fédération Française des Télécommunications – FFT 2022

Concernant plus particulièrement la couverture ciblée, le chantier devrait durer jusqu’à 2025-2026 selon les experts consultés (prévu de toute façon dans les textes à l’horizon 2027). Si, en février 2022, environ 3 400 zones en moyenne par opérateur avaient été arrêtées pour un total consolidé de près de 3 600 zones, cela signifie que :

- d’une part, une partie de ces zones restent à couvrir effectivement, sachant que 1 224 des zones d’ores et déjà identifiées étaient couvertes à fin 2021)
- d’autre part, plus de 1 400 zones restent à définir (près de 1 600 en moyenne par opérateur selon les taux de mutualisation observés jusqu’alors).

Figure 6 : Nombre de zones identifiées par opérateur et arrêté dans le cadre de la couverture 4G ciblée



Les opérateurs peuvent être désignés conjointement sur une même zone : dans ce cas, les sites sont mutualisés à minima en partage passif entre les opérateurs désignés sur la zone.

Source: ARCEP, Etat des lieux du New Deal mobile et déploiements 4G

Concernant les zones identifiées restant à couvrir, près de 2 300 sites devraient être mis en service d’ici 2024 et 72 restaient à fin 2021 en attente de déploiement.

Concernant les zones restant à identifier, au rythme actuel de 600 à 800 zones nouvelles identifiées par les collectivités chaque année, il faudrait encore au minimum deux ans pour avoir une liste complète et à nouveau deux ans pour finaliser la construction.

L’application stricte des délais aboutirait à la construction de 1 150 sites en moyenne pour chacune des deux prochaines années (près de 1 200 par opérateur aux conditions actuelles) puis 750 pour chacun des deux années suivantes (près de 800 par opérateur). Considérant que l’objectif annuel de court terme (1 150) correspond peu ou prou au total des nouveaux sites installés depuis le début de

l'opération à fin 2021, le rythme suggéré supposerait une forte accélération des déploiements et pourrait se traduire *in fine* par un allongement des délais de réalisation plutôt vers 2026-2027.

Par ailleurs, au titre de la couverture en services 4G fixe, Orange et SFR sont tenus de participer à l'extension du réseau, en fournissant chacun un service « 4G fixe » sur des zones nouvelles identifiées par arrêté ministériel. Trois listes ont été publiées :

- une première par arrêté du 23 décembre 2019, contenant 236 zones à couvrir par Orange et 172 par SFR et ce, dans les 24 mois,
- une deuxième par arrêté du 3 novembre 2020, contenant 73 zones à couvrir par Orange et 29 par SFR et ce, dans les 24 mois également,
- une troisième enfin par arrêté du 20 octobre 2021, contenant 204 zones à couvrir par Orange et 281 par SFR et ce, à nouveau dans les 24 mois.

Le total ressort donc à 500 pour Orange (13 sites préalablement identifiés ont été supprimés par le dernier arrêté) et 471 pour SFR (11 sites supprimés).

Pour 2022 et 2023, on peut ainsi estimer à 260 le nombre de sites nouveaux à installer par Orange au titre de l'extension de la couverture 4G fixe et à 290 par SFR.

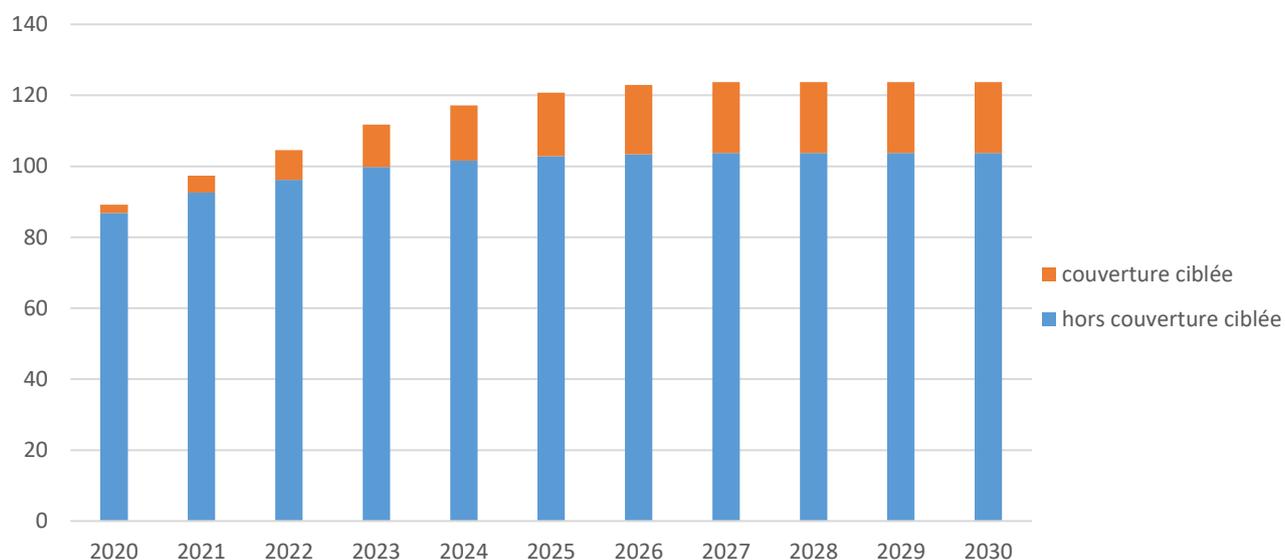
4.1.2. Perspectives de déploiements de sites 4G

Au-delà des nouveaux sites installés au titre du dispositif de couverture ciblée et, dans une moindre mesure, des autres composantes du New Deal Mobile (4G fixe, zones blanches-centres bourgs en particulier), les opérateurs complètent encore la couverture 4G selon leur propre programme d'investissements, y compris dans les DCOM. Selon les décomptes de l'ANFR, le nombre de nouveaux sites-opérateurs 4G installés a été de 8 300 en 2019, 14 200 en 2020 et 8 200 en 2021 pour la France entière. Si l'on déduit les sites relevant de la couverture ciblée, ce sont respectivement 8 200, 11 900 et 5 700 sites supplémentaires qui ont été installés pour chacune de ces trois années.

Comme indiqué précédemment, nous avons anticipé, pour la poursuite de la couverture ciblée, un léger décalage dans le temps par rapport aux obligations administratives au sens strict (construction prévue dans les 24 mois suivant la notification de la zone, voire 12 mois si la collectivité met à disposition un lieu équipé en énergie pour la construction) et retenu un rythme de 3 600 sites-opérateurs mis en service chaque année entre 2022 et 2024, avant un ralentissement à 2 400 en 2025, 1 600 en 2026 et enfin 500 en 2027 ; soit un total de 15 300 sites-opérateurs, essentiellement en zones peu denses.

Pour les déploiements supplémentaires, nous avons retenu, sur la base des tendances observées, une diminution régulière au fil des années, jusqu'à un arrêt total des nouveaux investissements 4G, que nous avons fixé comme pour les sites ciblés à l'horizon 2027. Au total, la France compterait à terme 123 700 sites-opérateurs 4G, soit 26 350 de plus qu'à fin 2021.

**Figure 7 : Déploiement des sites-opérateurs 4G sur la France entière
(parc à fin d'année, en milliers de sites)**



Source: IDATE, d'après ANFR et ARCEP (données 2020 et 2021)

4.2. 5G

La 5G est une nouvelle technologie s'ajoutant au socle numérique existant et qui impactera les infrastructures, l'architecture des réseaux actuels, les processus et usages des citoyens.

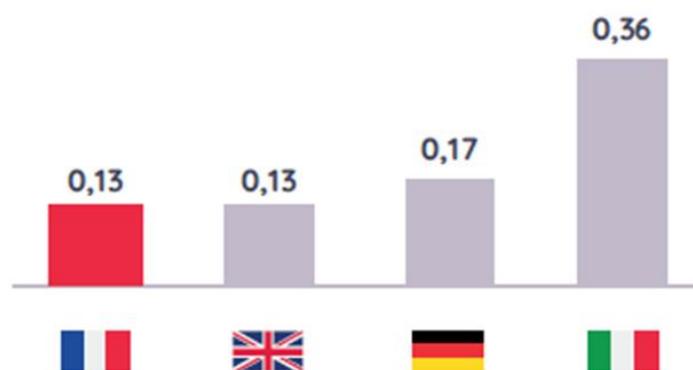
A l'heure où les technologies numériques sont des outils essentiels pour répondre aux besoins économiques, énergétiques et environnementaux, la 5G en tant que "plateforme d'innovation ouverte" est une source de croissance, d'innovation et d'inclusion sociale. Elle contribuera à réduire la fracture numérique et à apporter une connectivité Internet à haut débit en tout temps et en tout lieu, elle transformera les usines, en leur donnant un avantage concurrentiel pour être plus productives, efficaces et génératrices d'emploi (5G industrielle). Au-delà de la production industrielle, elle servira l'ensemble des secteurs économiques : aide aux agriculteurs pour gérer au mieux l'utilisation des ressources (eau, engrais et pesticides...), gestion des transports (plus sûrs et plus efficaces, réduction des émissions de gaz à effet de serre, etc. Elle aidera également les collectivités à améliorer leur efficacité dans la gestion des biens et des services publics (territoires connectés).

4.2.1. Contexte réglementaire : Un cadre réglementaire qui favorise l'investissement et le déploiement rapide

En octobre 2020, les licences d'exploitation des bandes de fréquences 3,5 GHz, considérée comme la bande cœur de la 5G, sont attribuées aux quatre opérateurs télécoms nationaux (Orange, SFR, Bouygues Telecom et Free).

Les quatre opérateurs se partagent 11 blocs de fréquences 5G, acquis pour un total de 2,8 milliards d'euros. Cette somme reste modeste par rapport aux voisins allemands et italiens où les prix des licences ont dépassé les 6 milliards d'euros.

Figure 8 : Prix des licences 3,5 GHz en Euros / Mhz / Hab.



Source: Observatoire de la filière 5G en France - Comité Stratégique de Filière (« CSF ») « Infrastructures numériques » (AFNUM, FFTélécoms, InfraNum, Sycabel) et la Direction générale des entreprises (« DGE »)

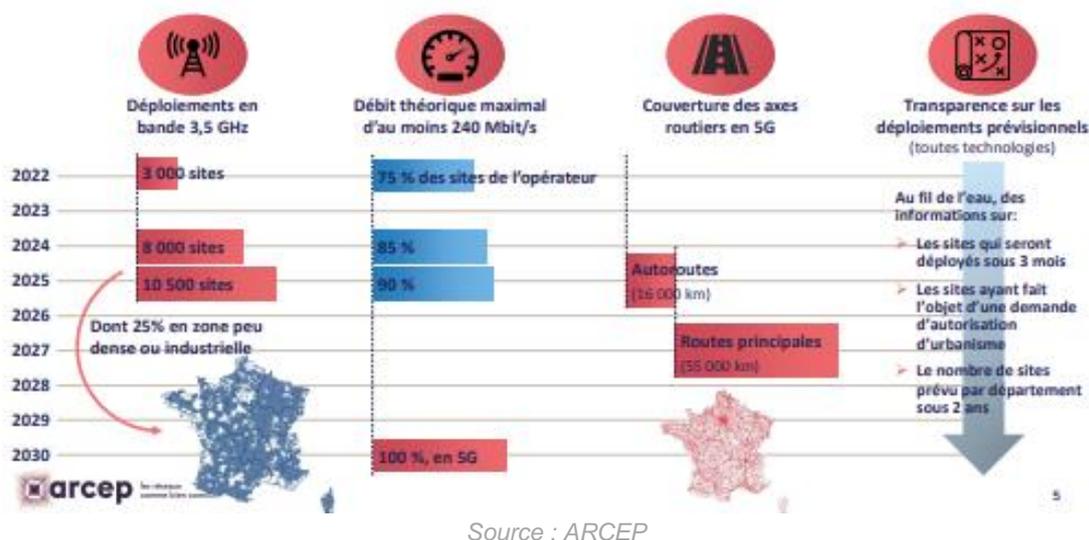
L'Etat français voulait éviter une flambée des enchères afin de préserver la capacité des opérateurs à investir, et leur laisser suffisamment de marge de manœuvre pour déployer le réseau 5G ainsi qu'assurer leurs autres dépenses : l'entretien des réseaux fixes et mobiles et la poursuite des déploiements 4G et fibre optique.

Ces licences ont été attribuées avec un cadre favorable prévoyant notamment des facilités de paiement (paiements étalés sur 5 ans pour 50% du montant) et des avantages technologiques tels que le partage d'infrastructure réseaux (autorisé dans certaines zones prioritaires) et la neutralité technologique.

Les licences 5G prévoient des objectifs de couverture et de déploiement ambitieux :

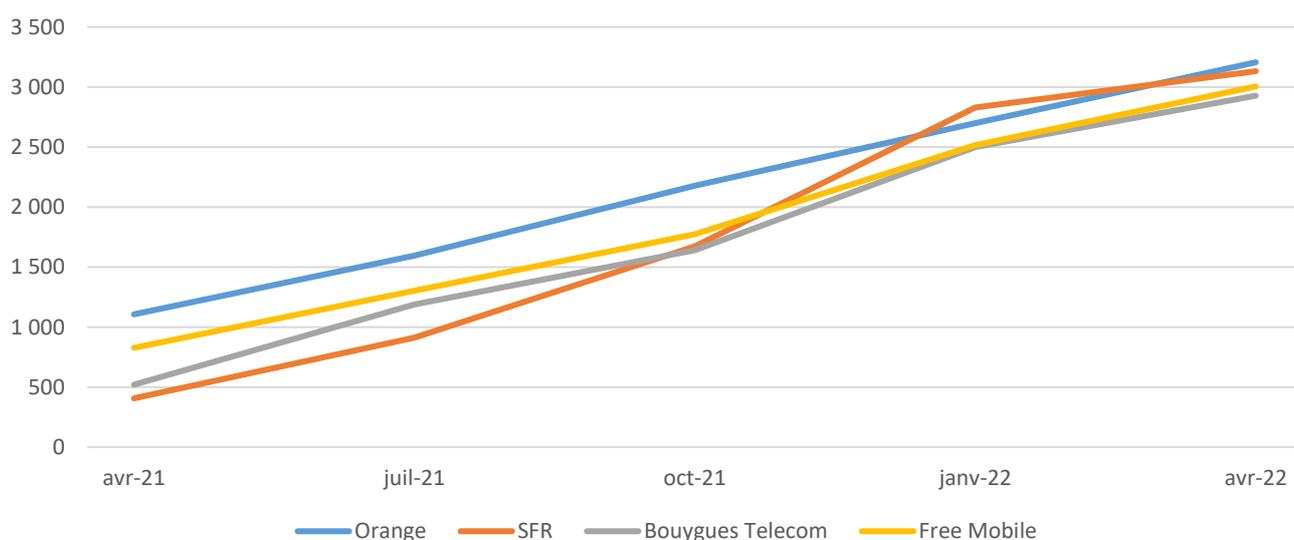
- 3 000 sites à fin 2022, 8 000 sites à fin 2024 et 10 500 sites à fin 2025 pour chaque opérateur,
- 25% des sites en zones peu denses,
- Débit théorique maximal de 240 Mbit/s,
- Couverture des autoroutes en 2025 et des routes principales en 2027.

Figure 9 : Obligations de déploiement des opérateurs



Au 1^{er} avril 2022, selon les chiffres publiés par l'ANFR, les opérateurs avaient déjà atteint ou étaient en passe d'atteindre le premier niveau d'objectifs en terme de déploiements de sites, à savoir 3 000 pour chacun dans la bande 3,5 GHz pour la fin d'année. En outre, les uns et les autres ont déployé des sites radio complémentaires dans d'autres bandes de fréquence : dans la bande 2,1 GHz pour Orange et surtout SFR et Bouygues Telecom et dans la bande 700 Mhz massivement pour Free (voir compléments dans la partie suivante).

Figure 10 : Sites 5G déployés dans la bande 3,5 GHz par opérateur



4.2.2. Aspects techniques

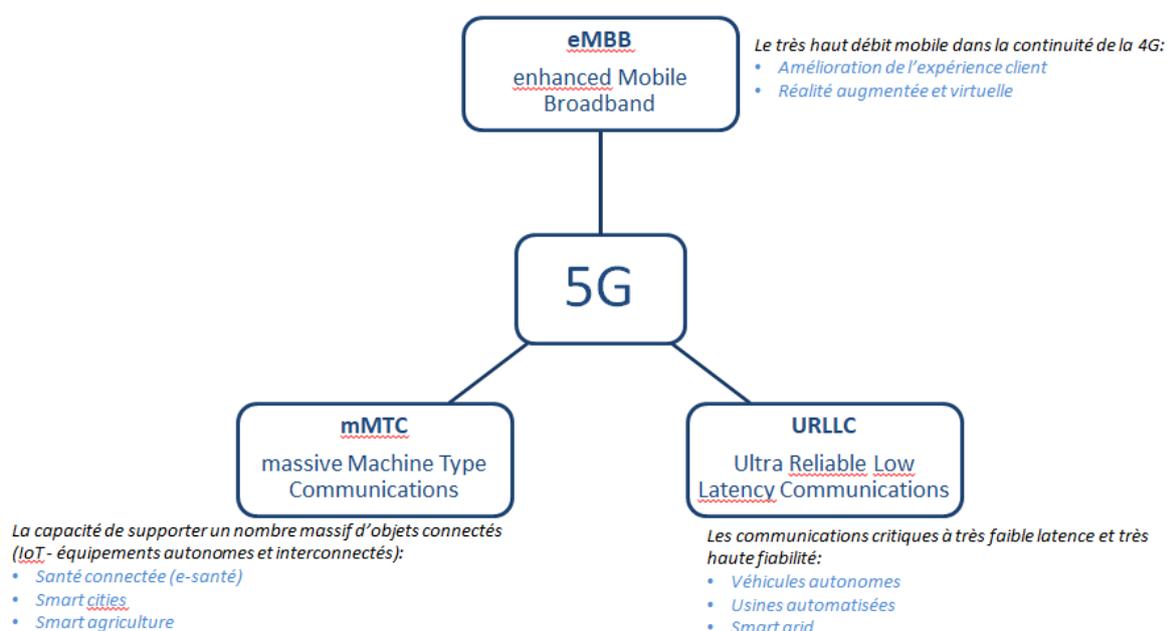
La 5G : un accélérateur d'innovation

Les fonctionnalités de la 5G seront introduites progressivement et certains gains de performance apparaîtront dans quelques années.

Trois axes permettront de développer les usages liés à la 5G :

- eMBB : fournit des débits moyens et de pointe très élevés pour les services de données mobiles. Il s'agit d'une extension de l'utilisation actuelle du haut débit mobile ;
- mMTC : prend en charge un volume massif de capteurs d'objets connectés dans une stratégie d'efficacité énergétique et de faible coût ;
- URLLC : très faible latence pour les utilisations en temps réel avec une grande fiabilité et une qualité de service garantie.

Figure 11 : Axes de développement de la 5G



La 5G : une technologie indispensable pour les territoires et la réduction de la fracture numérique

La 5G vient en support à l'aménagement du territoire : elle permet de soulager les zones urbaines congestionnées et de couvrir rapidement les zones moins denses où le Très Haut Débit n'est pas encore disponible.

La 5G sera un outil de lutte contre de la fracture numérique, permettant de réduire l'écart entre zones manquant de couverture à Très Haut Débit et aires urbaines saturées. En effet, la demande de connectivité mobile de la part des usagers et donc la consommation de données continuent à progresser, ce qui demande une mise à niveau des capacités de trafic : en France, la consommation de données mobiles a été multipliée par 4 entre 2017 et 2021 d'après les chiffres de l'observatoire ARCEP. Et le rythme doit rester soutenu : en Europe de l'Ouest, l'utilisation de données mobiles par usager de smartphone devrait croître à un rythme moyen de 28% par an au cours des 4 prochaines années.

Une mise à niveau des réseaux mobiles permettra d'en assurer la robustesse et de les décongestionner dans les zones les plus denses.

Dans le même temps, l'investissement dans la 5G ne se fera pas au détriment de l'amélioration de la couverture fibre et 4G des zones moins denses. En France, la 5G ne remet pas en question les engagements pris par les opérateurs dans le cadre du Plan France THD et du New Deal mobile. Dans le cadre de ce dernier, qui vise à accélérer la couverture mobile des territoires, les opérateurs mobiles français se sont engagés début 2018 à mettre à niveau l'intégralité de leur réseau vers la 4G d'ici fin 2020 (ou fin 2022 pour certains cas particuliers) et à construire 5 000 nouveaux sites 4G pour compléter leur couverture (voir partie précédente). Sur les réseaux fixes, le Plan France THD prévoit le Très Haut Débit pour tous les foyers à fin 2022. Les déploiements 5G ne s'opposent pas à la réalisation de ces objectifs. Au contraire, l'accès mobile à usage fixe doit permettre aux opérateurs de fournir rapidement des services d'accès à Très Haut Débit aux zones plus difficiles à couvrir en FTTH, en attendant le déploiement du réseau filaire. L'accès à la 5G dans certaines zones peut en effet se faire via un modem fixe, facile à installer soi-même, pour une utilisation en Wi-Fi au domicile ou dans les PME. Cela permettra d'étendre l'offre disponible pour les consommateurs et de proposer des débits plus élevés et une plus grande fiabilité de connexion que l'ADSL. Ce nouveau mode d'accès à Internet peut ainsi contribuer à réduire la fracture numérique et fournir de nouvelles possibilités de développement au tissu entrepreneurial local.

Les bandes de fréquences de la 5G

Trois bandes de fréquence ont été identifiées au niveau européen comme « pionnières » pour la 5G et seront utilisées par le réseau mobile. C'est l'agrégation de différentes bandes de fréquences qui permettra à la 5G d'offrir des possibilités d'usages démultipliées. Ces bandes possèdent en effet des propriétés différentes et complémentaires.

Figure 12 : Caractéristiques comparées des fréquences en bande basse, bande moyenne et bande millimétrique pour l'usage 5G

		Avantages	Inconvénients
700 MHz Bande basse	Déjà attribuée aux opérateurs depuis 2015, utilisée initialement pour la 4G	Couverture (pénétration à l'intérieur et portée)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Débit limité ▪ Partagé avec 4G ▪ Coût élevé
3.5 GHz Bande moyenne	Souvent identifiée comme la bande cœur de la 5G	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Offre un bon compromis couverture / débit ▪ Moins de problèmes de stabilité / performance que mmWave 	À moyen/long terme, plus limitée en capacité
26 GHz Bande millimétrique – mmWave	Jusqu'à présent utilisée pour les liaisons satellite, elle permettra des débits très importants dans des cellules de petite taille	Forte capacité et débit possible	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Couverture très limitée ▪ Pas encore attribuée ▪ Upload parfois problématique

La bande de fréquences des 3,5 GHz est aujourd'hui présentée comme la bande cœur de la 5G, offrant le meilleur compromis débit/portée.

Elle offre des débits élevés (plusieurs centaines de Mbps) avec une longueur d'ondes suffisante (portée moyenne de 400 mètres en zone urbaine et 1,2 km en zone rurale) pour répondre aux enjeux de couverture mobile.

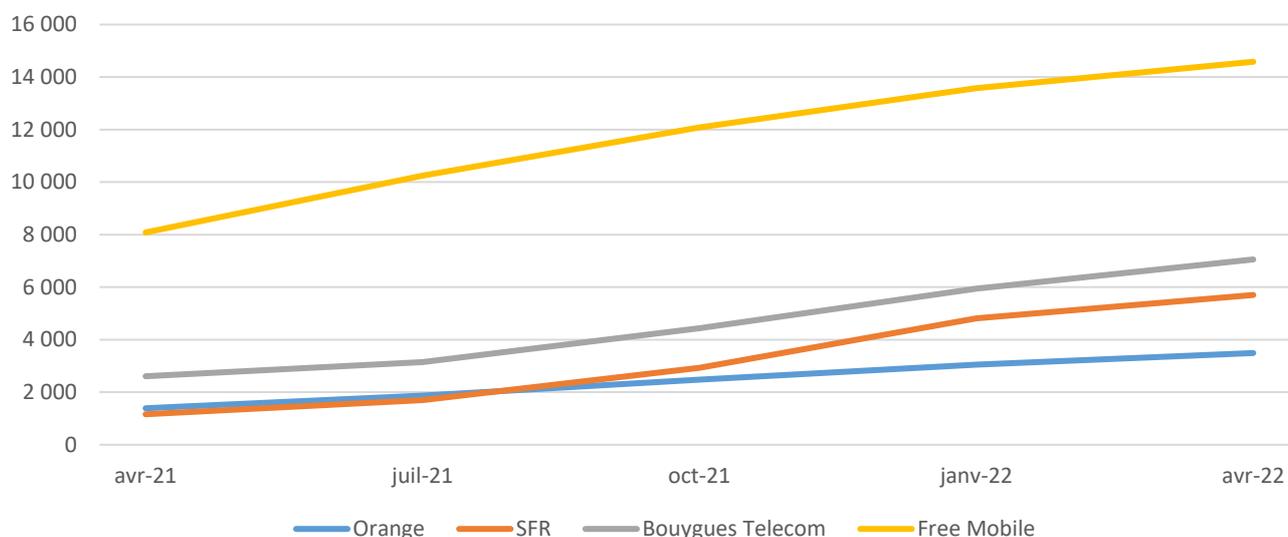
Déploiement des sites 5G

Le nombre total de sites 5G s'élève à 24 046 à fin mars 2022. Free en détient le plus grand nombre (14 584) à travers un déploiement massif dans les bandes de fréquences 700 MHz, bande de fréquence initialement utilisée pour la 4G.

Le nombre de sites dans la bande de fréquences 3,5 GHz (bande cœur pour la 5G) s'élève à 10 514 (12 267 avant prise en compte de la mutualisation). Comme indiqué précédemment, ces chiffres sont en ligne avec les objectifs fixés dans les licences des opérateurs pour 2022. On notera encore que le nombre d'autorisations délivrées permet d'anticiper une dynamique en ligne cette fois avec le rendez-vous fixé pour 2025 : chaque opérateur dispose à début avril 2022 de plus de 5 000 autorisations (seul Free Mobile apparaît légèrement en retrait avec 4 448) assurant ainsi d'ores et déjà plus de la moitié de leurs obligations à moyen terme.

A titre de comparaison encore, à fin mars 2022, 52 060 sites 4G étaient en service, avec un niveau de mutualisation sensiblement plus élevé que celui observé aujourd'hui pour la 5G.

Figure 13 : Nombre de sites 5G opérationnels par opérateur



Source : Observatoire du déploiement des réseaux mobiles, ANFR

Déploiement du cœur du réseau 5G

Les premières offres 5G sont déployées sur la base d'un réseau mobile 4G, notamment les infrastructures en cœur de réseau, à travers un déploiement progressif du réseau d'accès en antennes et équipement radios 5G.

Une fois le cœur de réseau 5G déployé, les opérateurs pourront démarrer la commercialisation de services 5G dits en « standalone » avec l'ensemble des fonctionnalités offertes par cette nouvelle technologie.

En France, c'est en 2023 que les premiers déploiements de la 5G en cœur de réseau sont attendus.

Figure 14 : Modes de déploiement du réseau 5G



Source : ARCEP

Opportunités avec le *network slicing*

Le *network slicing* consiste à **découper un réseau en sous-réseaux logiques**, appelés “tranches” ou “slices”. Chaque tranche de réseau est conçue et gérée de manière indépendante – mais déployée – sur une **infrastructure physique commune**.

Cette solution, réalisable grâce à la virtualisation du réseau d'accès et à l'introduction de la 5G en cœur de réseau, permet aux opérateurs **d'adapter en temps réel** le réseau mobile et les qualités de service aux besoins spécifiques de différents types de services et d'utilisateurs.

Un réseau 5G découpé en tranches virtuelles peut ainsi **supporter simultanément plusieurs types d'applications** sans que les unes viennent empiéter sur les autres.

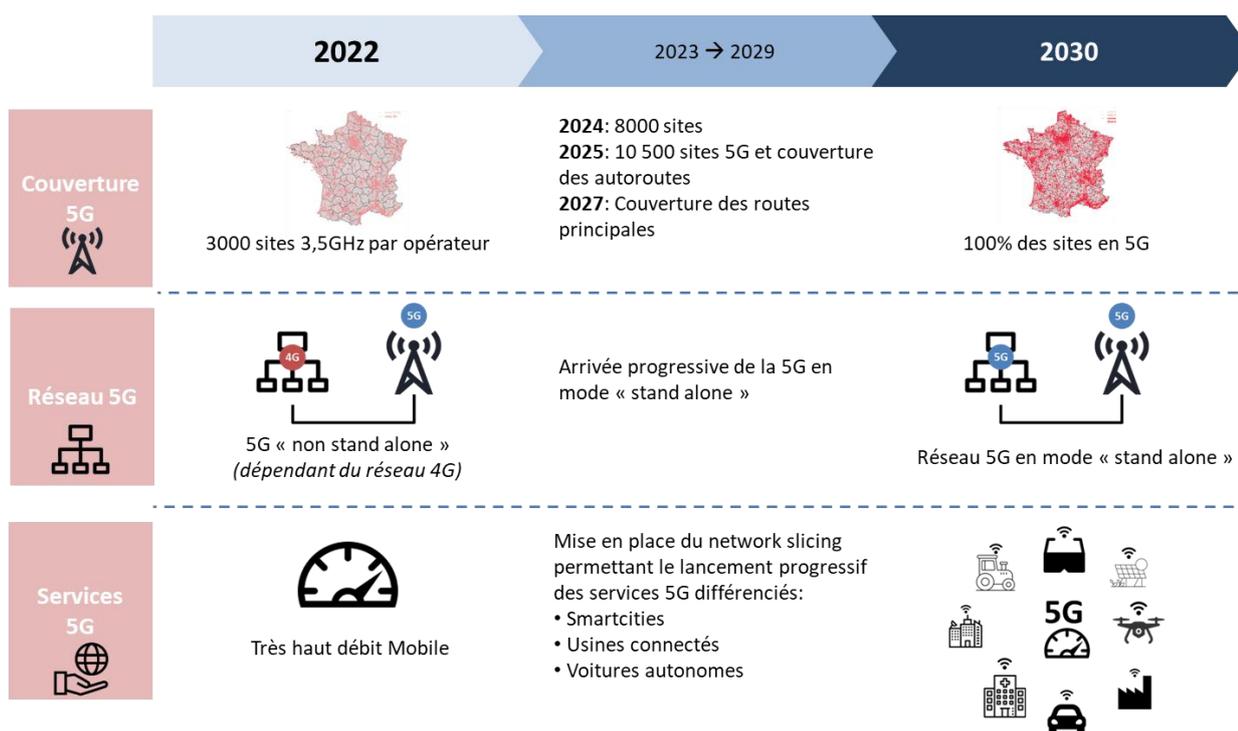
On peut par exemple imaginer attribuer une tranche de réseau à la réalité virtuelle, une autre à la médecine d'urgence ou à la gestion des véhicules.

Cette fonctionnalité est attendue à partir de 2023, permettant le lancement progressif des services 5G différenciés :

- Territoires intelligents
- Usines connectées
- Voitures autonomes

Elle peut aussi soutenir le déploiement de réseaux mobiles privatifs (RMP) à partir de réseaux publics d'opérateurs, dès lors qu'une ou plusieurs “tranches” seraient mises à disposition, de manière séparée et autonome, auprès de clients industriels (voir développement sur les RMP et la 5G industrielle).

Figure 15 : Calendrier de déploiement de la 5G



Source : ARCEP

Evolution de l'architecture du réseau d'accès mobile : vers des systèmes ouverts et virtualisés

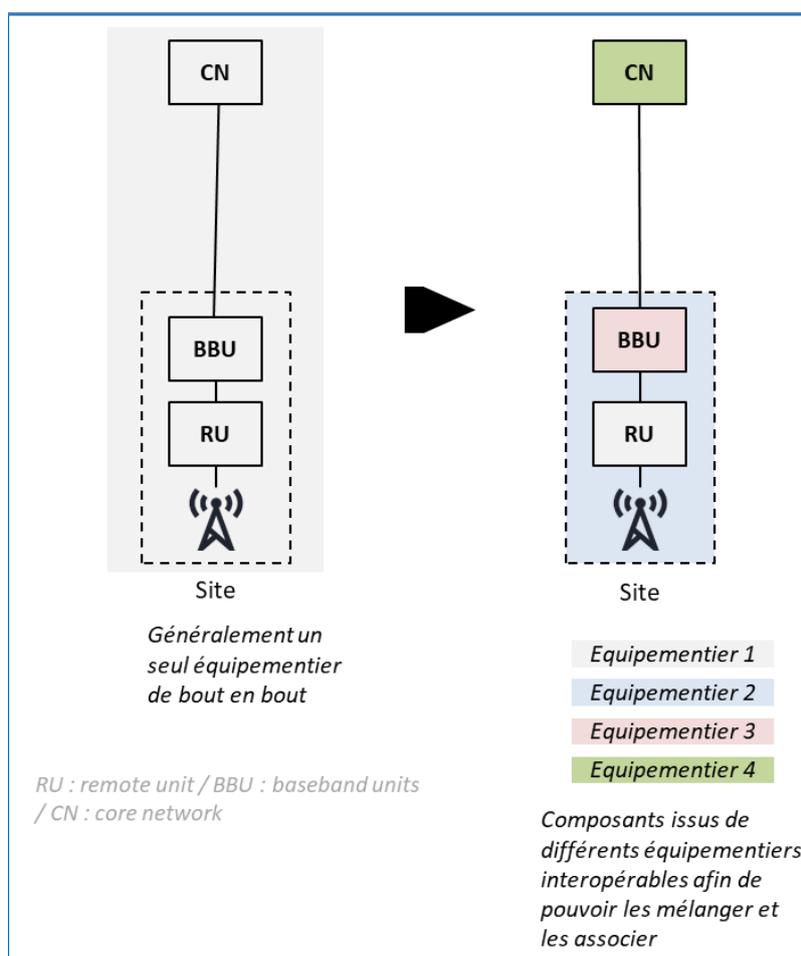
Les systèmes ouverts

Aujourd'hui, les technologies mises en œuvre sont créées par une petite poignée d'équipementiers, dans une logique propriétaire. Pour que tous les composants matériels et logiciels fonctionnent bien ensemble, les opérateurs doivent souvent les acheter chez un seul vendeur. Cela génère une dépendance, et limite les possibilités d'innovation au cours de la vie du réseau

En ouvrant la partie radio à de nouveaux fournisseurs, tout en s'assurant que les composants issus de différents vendeurs sont interopérables afin de pouvoir les mixer et les associer, les opérateurs cherchent à rendre les réseaux plus flexibles et évolutifs.

Un système interopérable peut être déployé en conjonction avec la virtualisation des fonctions réseaux, qui ouvre la voie à l'automatisation des réseaux, à l'aide de technologies basées sur l'intelligence artificielle et le machine learning. L'objectif est de réduire les coûts opérationnels, de rendre les réseaux plus agiles et d'améliorer leurs performances, mais aussi d'offrir de nouveaux services innovants aux utilisateurs.

Figure 16 : Architecture Open RAN



Source : MDPI, IDATE DigiWorld 2022

Les questions, techniques mais aussi environnementales et sécuritaires (puisque « l'ouverture » du réseau est susceptible d'augmenter la surface d'attaque) ou encore stratégiques, autour de ces systèmes interopérables (Open RAN) restent nombreuses. Certains acteurs montrent cependant leur intérêt pour ces architectures : début 2021, cinq grands opérateurs européens, Orange, Deutsche Telekom, Telefónica, TIM et Vodafone se sont engagés à augmenter la disponibilité de solutions de réseau d'accès radio ouvert. De manière concrète, Orange a annoncé souhaiter que tous les matériels de mise à niveau de son réseau européen soient compatibles à l'Open RAN. Il faut cependant noter qu'à ce stade, les solutions Open RAN ne sont pas encore matures, et ne devraient pas l'être avant 2025 pour des déploiements à grande échelle. Ces solutions doivent encore faire leurs preuves en termes de performance, de sécurité des réseaux et d'efficacité énergétique, enjeu particulièrement cruciaux pour les réseaux 5G. Différents enjeux de cybersécurité devront être pris en compte par les acteurs de l'Open RAN afin d'atteindre une solution mature et acceptable : complexité d'intégration, sécurisation des nouvelles interfaces, virtualisation, liens avec le edge computing, considérations en termes de souveraineté des infrastructures numériques, etc.

Les systèmes virtualisés

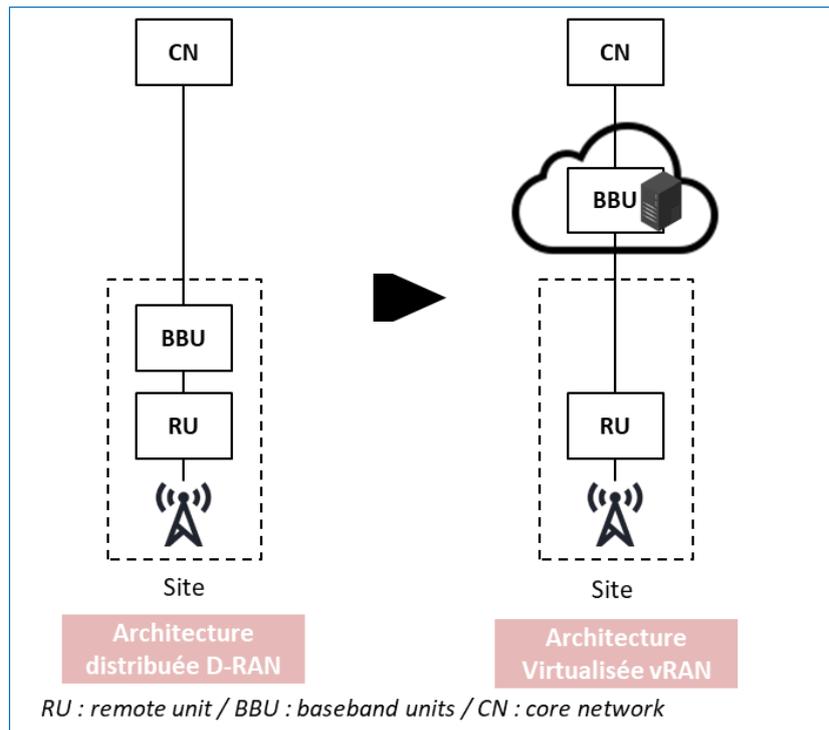
La virtualisation peut être définie comme un découplage du software (niveau logiciel) et du hardware (équipement).

Cette nouvelle architecture de réseau est essentielle pour le développement du réseau 5G et permet d'utiliser le plein potentiel d'un équipement en répartissant ses capacités entre de nombreux utilisateurs

ou environnements. Elle permet d'accroître la capacité radio des opérateurs télécoms et, partant, de répondre aux besoins de densification des réseaux.

Un vRAN (RAN virtualisé) consiste en la migration des unités de traitement de bande de base (BBU) centralisées vers des équipements standardisés au sein de data centers. Les fonctions inhérentes aux BBU peuvent être implémentées virtuellement dans un data center centralisé. Cela permet un dimensionnement optimal des ressources informatiques tout en réduisant la consommation d'énergie et les investissements.

Figure 17 : Architecture vRAN



Source : MDPI, IDATE DigiWorld 2022

Les bénéfices des systèmes virtualisés sont :

- la réduction des coûts de déploiements, des charges opérationnelles et des frais énergétiques :
 - o réduction des CapEx de 30 à 40% : moins d'équipements matériels, moins de travaux, moins d'alimentation électrique nécessaire,
 - o réduction des OpEx de 30 à 50% : moins de coûts de location des sites, moins de maintenance (visite et mise à jour) et de consommation électrique (climatisation),
- plus de flexibilité, grâce à une puissance de calcul distribuée (augmentation de la capacité et de la couverture réseau) permettant de répondre aux exigences du réseau, de plus en plus sollicité par les cas d'utilisation de l'IoT,
- accélération des délais de déploiement de 20 à 50%,
- utilisation efficace des ressources spectrales,
- simplification des mises à jour réseau, notamment des réseaux hétérogènes.

Réseaux ouverts et virtualisés se combinent pour assurer une plus grande souplesse et apporter plus de performances avancées au sein des systèmes.

D'autres évolutions en matière d'architecture compléteront ces solutions pour en tirer le meilleur parti.

Les initiatives d'Orange dans les systèmes ouverts et virtualisés

En novembre 2021, Orange a inauguré un nouveau centre dédié à l'Open RAN. Il s'agit du premier **laboratoire dédié au concept Open RAN** en France et le 4^{ème} en Europe. Cet **espace de test et d'intégration** est accessible aux fournisseurs d'équipements de l'écosystème Open RAN, aux start-ups et aux intégrateurs de systèmes pour tester **l'interopérabilité de leurs composants** avec ceux d'autres fournisseurs. Parmi ces partenaires : les fournisseurs RAN Nokia et Samsung, des fournisseurs d'infrastructures, de plateformes et processeurs comme Dell ou Intel, et des fournisseurs d'équipements et de solutions de tests, de validation et de mesures.

A travers ce centre, Orange souhaite contribuer à la mise au point de solutions techniques Open RAN multifournisseurs interopérables et participer à l'émergence d'un écosystème Open RAN riche et varié, combinant l'interopérabilité et la virtualisation des fonctions réseaux (vRAN).

Il permettra d'accélérer le développement de l'open RAN en France afin de lancer des services innovants et de soutenir l'ambition de déployer uniquement des équipements Open RAN à partir de 2025.

L'Edge Computing

Si la finalité de l'edge computing est d'accompagner les organisations dans leur transformation digitale, le concept se décline différemment selon les catégories d'acteurs qui le portent.

Figure 18 : L'edge computing - Des objectifs communs, plusieurs concepts

Terminologie	Acteurs porteurs	Objectif
Multi-Access Edge Computing (MEC)	Opérateurs de télécommunications et fournisseurs d'équipements	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traiter les données collectées pour en extraire des informations exploitables pour l'analyse décisionnelle en temps réel ▪ Favoriser l'automatisation en permettant aux équipements sans capacité de calcul de traiter et d'analyser les données générées à proximité ▪ Apporter autonomie aux objets et assistance aux actions ▪ Encourager le développement de nouveaux services avec des contraintes liées à la latence, la capacité, la sécurité, la localisation
Edge cloud	Fournisseurs de services d'hébergement et de cloud	
Fog computing	Acteurs de l'IT	
"On-premise computing"	Industriels	

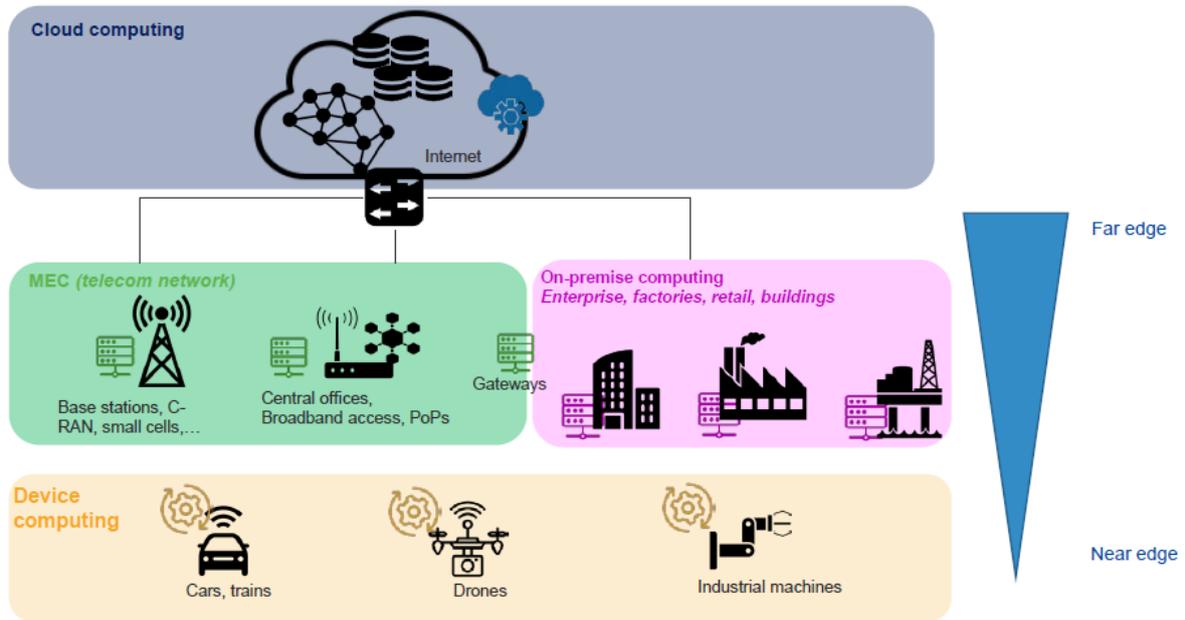
Source: IDATE DigiWorld, Edge Computing, Juin 2021

L'edge computing se situe entre les environnements télécoms et informatiques.

Dans le secteur des télécommunications, l'edge computing (ou MEC : multiple access edge computing) est un concept d'architecture réseau permettant d'effectuer le traitement des données en périphérie du réseau, au plus près de là où elles sont générées, pour bénéficier de meilleures performances réseau. Il permet d'introduire des capacités de cloud computing (puissance de calcul) au sein des réseaux télécoms et devrait développer des opportunités pour fournir de nouveaux services.

Au niveau technique, les opérateurs installent un serveur au niveau des stations de base, avec la possibilité d'utiliser le serveur du MEC pour héberger le vRAN.

Figure 19 : L'edge computing - Périmètre et localisation

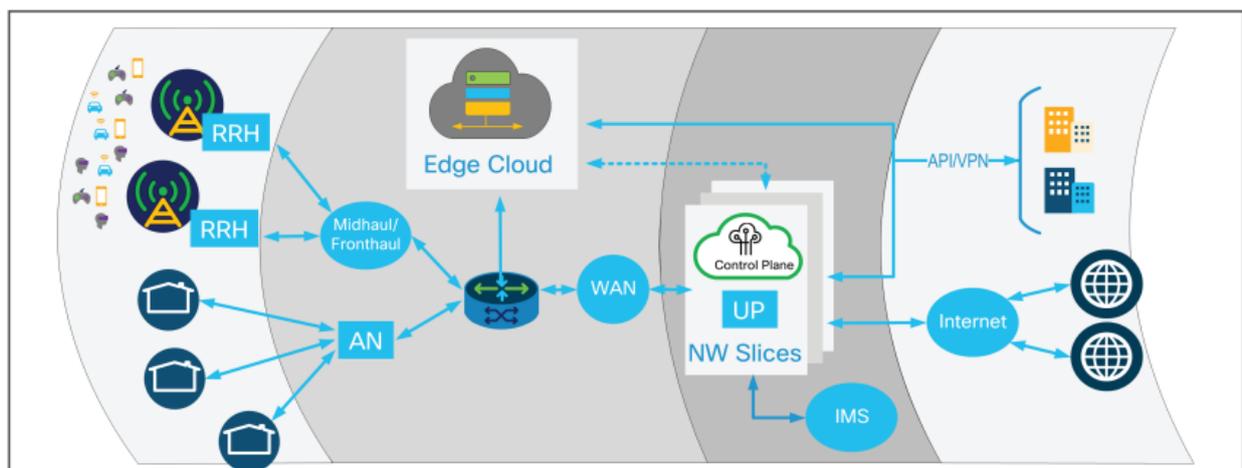


Source: IDATE DigiWorld, Edge Computing, Juin 2021

Des nouveaux data centers (micro ou mini data centers, proposés sous forme de racks ou de containers) complètent par ailleurs l'architecture, permettant que les données soient stockées et surtout traitées à proximité de leur lieu de collecte, réduisant les temps de latence et les coûts de backhaul (cf avantages infra).

L'implantation de ces équipements peut être menée directement par les opérateurs mais aussi dans le cadre de partenariats avec les grands fournisseurs de solutions cloud (*hyperscalers*) ou les *towercos*. On devrait ainsi voir se multiplier ces équipements dans les réseaux.

Figure 20: Infrastructure edge cloud au sein d'un réseau opérateur



Source: Cisco

Les avantages de l'implémentation de l'edge computing dans les infrastructures du réseau sont :

- La réduction des temps de latence jusqu'à 1-2 ms,
- Le désengorgement des cœurs de réseau permettant d'améliorer les performances : réduction d'utilisation de la bande passante transitant dans le cœur du réseau en optimisant les allers retours grâce au stockage local de certaines données (le traitement étant limité aux informations locales stockées à la périphérie),
- L'amélioration de la distribution de contenus (vidéo notamment),
- La réduction des données de signalisation transitant dans le réseau central (directement déchargées vers la périphérie), réduisant ainsi les coûts de backhaul.

Les cas d'usage de l'edge computing dans les télécommunications sont très nombreux, soutenant deux objectifs principaux :

- Assurer la qualité de service pour les services aux tiers :
 - Cloud gaming, applications immersives (réalité virtuelle ou augmentée)
 - TV en direct, distribution de vidéo sur mobile
 - Événementiel
 - Véhicule autonome, voiture connectée
 - Vidéo surveillance
 - Smart factory
- Optimiser les opérations internes :
 - Gestion du réseau des opérateurs
 - Gestion du trafic (au niveau local)

Figure 21 : Initiatives phares en matière d'edge computing en France

Projet (secteur)	Partenaires (secteur)	Statut	Description
Port du Havre (transport/logistique)	Orange/OBS (telco)	Projet lancé en mars 2021	Dans le cadre plus large de l'initiative "Le Havre Smart Port City", le Port du Havre expérimente des cas d'usage edge computing basés sur le réseau 5G 3.5GHz d'Orange : accès données en temps réel, robots connectés, maintenance assistée en mode AR, collaboration 4K/8K en temps réel.
RTE (énergie)	Advantech (solutions IoT industrielles)	Tests lancés en janvier 2021	Un routeur edge embarqué dans un drone assure la surveillance automatisée des lignes Très Haute Tension en France (par comparaison des photos prises entre deux passages, les images étant traitées à bord)
Schneider Electric (production industrielle)	Orange (telco), Nokia (équipements réseau)	Tests lancés en novembre 2020	5 antennes indoor sur le site industriel de Schneider Electric au Vaudreuil, connectées à un système edge, servant deux cas d'usage : AR appliquée à l'activité des techniciens de maintenance et robot de téléprésence pour les inspections à distance.
Airbus (production aéronautique)	HPE (hardware IT)	Projet lancé en janvier 2019	Des capteurs IoT envoient des données à un centre de contrôle centralisé qui supervise le process d'assemblage des avions, grâce à l'intelligence portée en périphérie de la ligne de production.
Compass (restauration collective)	Nutanix (logiciels)	Projet lancé en novembre 2018	200 restaurants collectifs doivent être équipés d'un système de reconnaissance des plats sur les plateau pour faciliter le passage en caisse.
Renault Sport (automobile)	Microsoft/Azure (plateforme Machine Learning)	Projet lancé en novembre 2018	Un outil de simulation permet d'embarquer des milliers de scénarios pour ajuster en temps réel la tactique de course aux paramètres mesurés.
Police	Atos (IT)	Tests lancés en juillet 2018	Le traitement de vidéos dans les accueils de postes de police permet, grâce au machine learning, de détecter des comportements spécifiques.
Tournoi de Roland Garros (tennis)	Orange (telco)	Tests lancés en juin 2018	L'analyse vidéo des caméras connectées permet de mesurer la fréquentation et le comportement des spectateurs et d'optimiser l'expérience des visiteurs.
Schneider Electric	Microsoft (logiciels)	Projet lancé en septembre 2017	Realift Rod Pump Control est une solution, destinée aux compagnies de gaz et de pétrole, qui, à l'aide de l'IA et de l'apprentissage automatique, permet de détecter les défaillances mécaniques potentielles ou les écarts par rapport à un fonctionnement optimal des pompes (maintenance prédictive et corrective)

Source: IDATE DigiWorld, Edge Computing database, Juin 2021

4.2.3. Contexte économique et environnemental

Des forfaits 5G ciblant le haut de marché et répondant à une forte demande en data

Le lancement commercial des abonnements 5G a débuté en décembre 2020.

En février 2022, plus d'un an après le lancement, les opérateurs affichent des forfaits à plus de 20 EUR et des volumes de data de plus de 90 Go (sauf pour l'offre entrée de gamme de Bouygues Telecom proposée à 16,99 EUR pour 70 Go).

Les offres 5G actuelles des opérateurs font ressortir deux caractéristiques principales :

- des offres pour les utilisateurs à très forte consommation de données : la consommation moyenne mensuelle en data des clients 4G s'élève à 10,3 Go en 2020 et 11,4 Go en 2021. Les forfaits 5G avec plus de 90 Go, représentent près de 10 fois l'utilisation moyenne en 4G,
- des offres pour les utilisateurs à ARPU élevé : la facture moyenne mensuelle en data des clients mobile s'élève à 15,50 EUR HT (18,60 EUR TTC) en 2020. Les forfaits 5G avec plus de 20 EUR TTC, ciblent des clients « haut de marché », avec une volonté de monétiser les performances élevées (en matière de débit) de la 5G.

Figure 22 : Prix des forfaits 5G

				
Offres avec moins de 100 Go	-	-	70 Go: 16,99 EUR 90 Go: 20,99 EUR	-
Offres entre 100 et 200 Go	120 Go: 20,99 EUR 130 Go: 29,99 EUR	140 Go: 21 EUR	150 Go: 29,99 EUR	-
Offres supérieures à 200 Go	200 Go: 49,99 EUR	220 Go: 50 EUR	200 Go: 54,99 EUR	210 Go: 19,99 EUR
Offres « illimité »	-	Illimité: 60 EUR	-	-

Prix par mois pour les 12 premiers mois

Source : sites web des opérateurs (prix relevés sur le 18/02/2022)

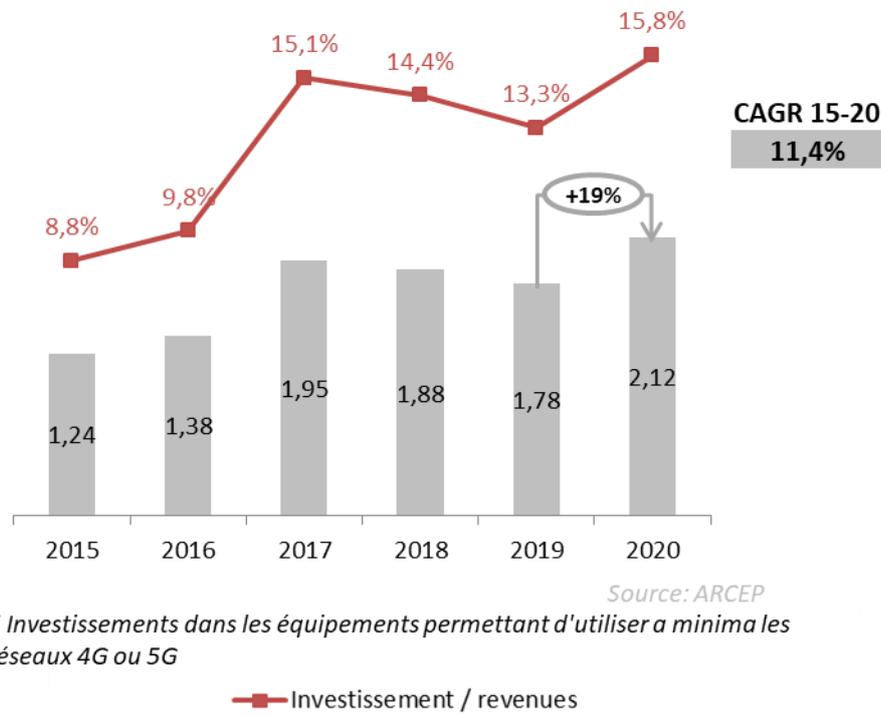
Des investissements élevés pour les opérateurs mobiles ces dernières années

Depuis plusieurs années, les opérateurs français ont investi massivement dans leurs réseaux fixes et mobiles, investissements qui ont franchi le seuil des 10 milliards d'euros par an depuis 2018, alors que le marché est toujours plus compétitif et que les revenus globaux du secteur ont tendance à baisser.

En 2020, les opérateurs ont investi 11,5 milliards d'euros au total : 8,3 milliards d'euros pour les réseaux fixes et 3,2 milliards d'euros pour les réseaux mobiles dont 2,12 milliards dans les boucles locales très haut débit mobile, en hausse de 19% par rapport à 2019, avec le début de déploiement des sites 5G (8 675 sites à fin 2020 dont 1 200 sites 3.5 GHz).

Ce dernier investissement représente 15.8% des revenus générés par les opérateurs dans le mobile pour la période.

Figure 23 : Evolution des investissements dans les boucles locales très haut débit mobile (4G/5G)*, en milliards d'euros

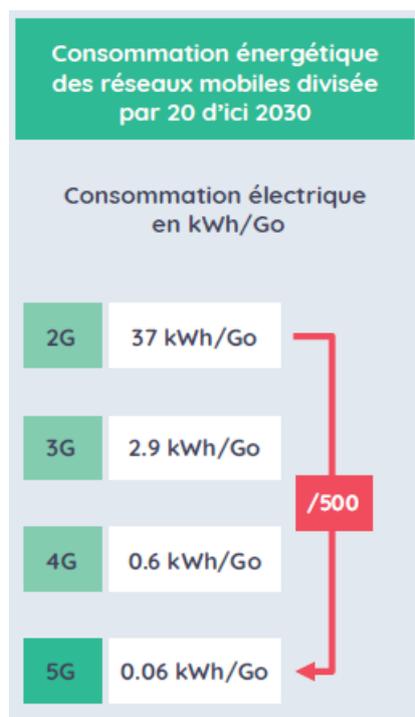


Maîtrise de l'empreinte carbone de la 5G

L'industrie des télécommunications a pleinement conscience de son rôle et de sa responsabilité environnementale, et la 5G fournit l'opportunité de repenser la question de l'énergie dans le fonctionnement des réseaux mobiles.

Avec les générations de réseaux mobiles précédentes, permettre des performances accrues notamment en termes de débit et de latence était vecteur d'une augmentation de la consommation énergétique du réseau. Consciente de cette équation, l'industrie a développé une série d'innovations techniques augmentant l'efficacité énergétique de la 5G. Cette dernière permettra ainsi des améliorations comme la mise en veille automatique des stations de base et l'utilisation de l'Intelligence Artificielle pour optimiser la gestion des réseaux en fonction du trafic en temps réel. A trafic égal, la 5G consommera donc moins d'énergie que les réseaux 4G actuels, ce qui aura un impact environnemental positif non négligeable au vu de la croissance anticipée en termes de demande de connectivité mobile. De plus, l'association de la 5G et de la 4G, dont les déploiements se poursuivent dans le cadre du New Deal mobile, succédera aux réseaux 3G qui seront ainsi remplacés par des équipements plus efficaces et plus performants. Les quatre générations de réseaux mobiles n'ont donc pas vocation à coexister sur le long terme, et l'arrivée de la 5G pourrait déclencher non pas une hausse, mais une diminution à terme de la consommation énergétique et des émissions d'ondes radio.

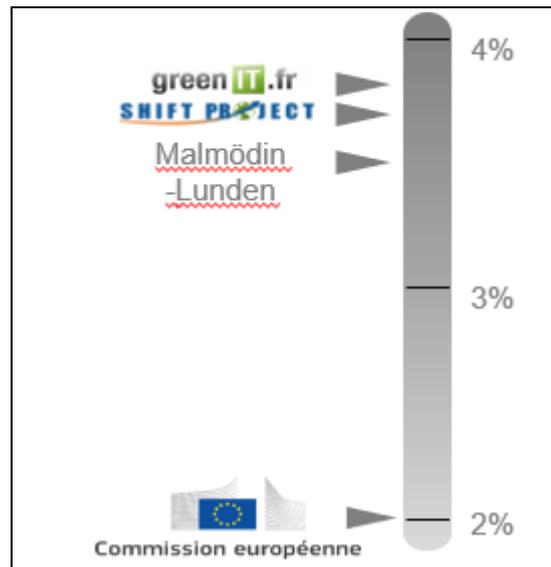
Figure 24 : Consommation énergétique des réseaux mobiles par génération



En outre, à l'instar de ce que l'on a pu observer pour la 4G, le passage à la 5G se fera graduellement. Le remplacement des équipements réseau comme des terminaux des consommateurs s'inscrit dans la continuité du cycle de vie actuel de ces derniers, ce qui limitera la production de déchets électroniques, d'autant plus que les consommateurs sont sensibilisés aux enjeux environnementaux. On assiste ainsi au développement d'une réflexion sur les usages numériques individuels indépendante de la 5G, qui s'exprime par une fréquence de remplacement des smartphones qui se ralentit de manière durable : elle est passée en Europe de 18 mois en 2013 à plus de 26 mois en 2018. En parallèle, on observe un intérêt croissant des consommateurs pour le marché de l'occasion dans les équipements électroniques. La 5G ne devrait pas bouleverser cette tendance.

Plus largement, le numérique serait, selon les sources, à l'origine de 2% à 4% des émissions de CO₂. Les variations tiennent pour l'essentiel aux méthodologies d'évaluation et aux données mobilisées.

La mesure de l'évolution de l'impact environnemental du numérique à terme reste toutefois imprécise, les différentes sources disponibles présentent des évolutions divergentes ; en outre, les évaluations se focalisent souvent sur l'empreinte carbone via la consommation d'électricité, sans prendre en compte les autres impacts environnementaux tels que les ressources abiotiques, notamment les métaux.

Figure 25 : Pourcentage d'émissions de GES du secteur numérique au niveau mondial

Sources : variées (voir indications dans le graphique)

Enfin, selon l'étude ADEME/ARCEP³, qui prend pour périmètre du numérique les terminaux, les réseaux, et les data centers, ce sont les terminaux, en particulier les écrans et téléviseurs, qui sont à l'origine de 65 à 90 % de l'impact environnemental.

L'empreinte carbone des terminaux, smartphones, ordinateurs, téléviseurs, écrans publicitaires se fait principalement dans la phase de fabrication ; d'où l'importance des politiques d'éco-conception et d'allongement de la durée d'utilisation des terminaux.

³ Empreinte environnementale du numérique en France, premier rapport paru en janvier 2022

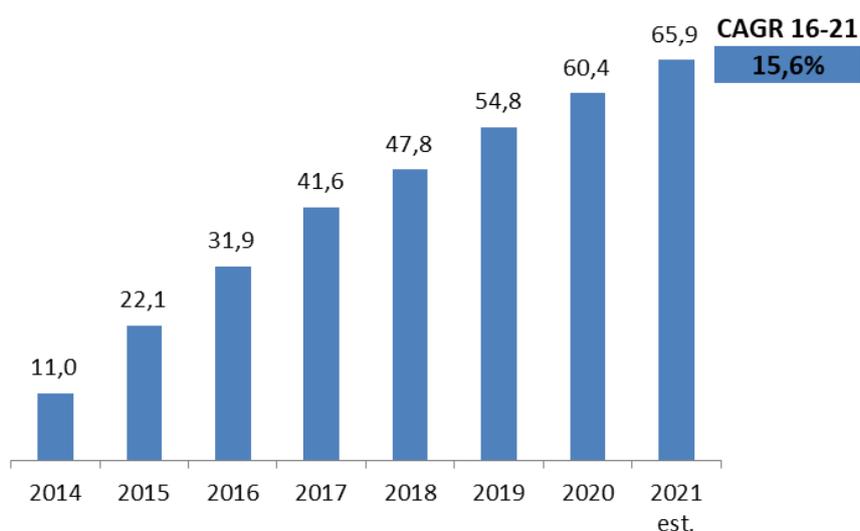
4.2.4. Demande et usage en services numériques

Evolution de l'usage 4G comme indicateur partiel pour les prévisions d'usage 5G

L'évolution de l'usage de la 4G depuis son lancement en 2013, peut être un indicateur sur l'évolution de la 5G dans un premier temps, avant le lancement de services innovants différenciés.

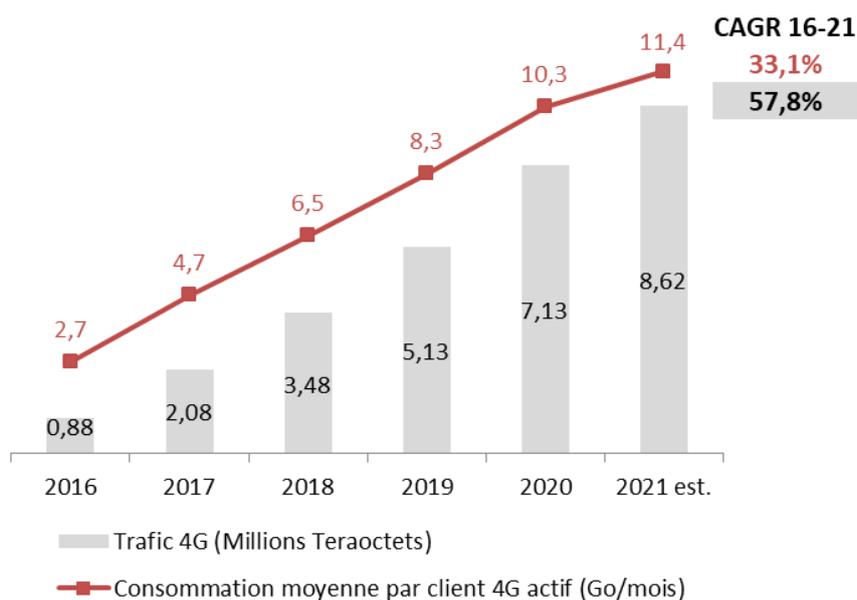
Le nombre de clients 4G s'élève à 65,9 millions à fin 2021, soit 83% du parc total, en hausse de 9% par rapport à 2020. La consommation moyenne par utilisateur est passée de 2,7 Go par mois en 2016 à 11,4 Go par mois en 2021, soit une croissance moyenne annuelle de 33%.

Figure 26 : Evolution du parc actif 4G (millions de clients)



Source : ARCEP

Figure 27 : Evolution du trafic 4G (millions de To) et de la consommation moyenne par abonné (Go par mois)



Source : ARCEP

Evaluation des retombées économiques de la 5G

La DGE, la FFT, l'AFNUM, InfraNum et le SYCABEL ont fait réaliser récemment, dans le cadre de l'observatoire sur la filière 5G en France⁴, une estimation de l'impact direct de la 5G pour l'économie en France avec une perspective à 2027.

D'abord mesuré pour 2020, l'impact aurait été de 2 milliards € répartis en :

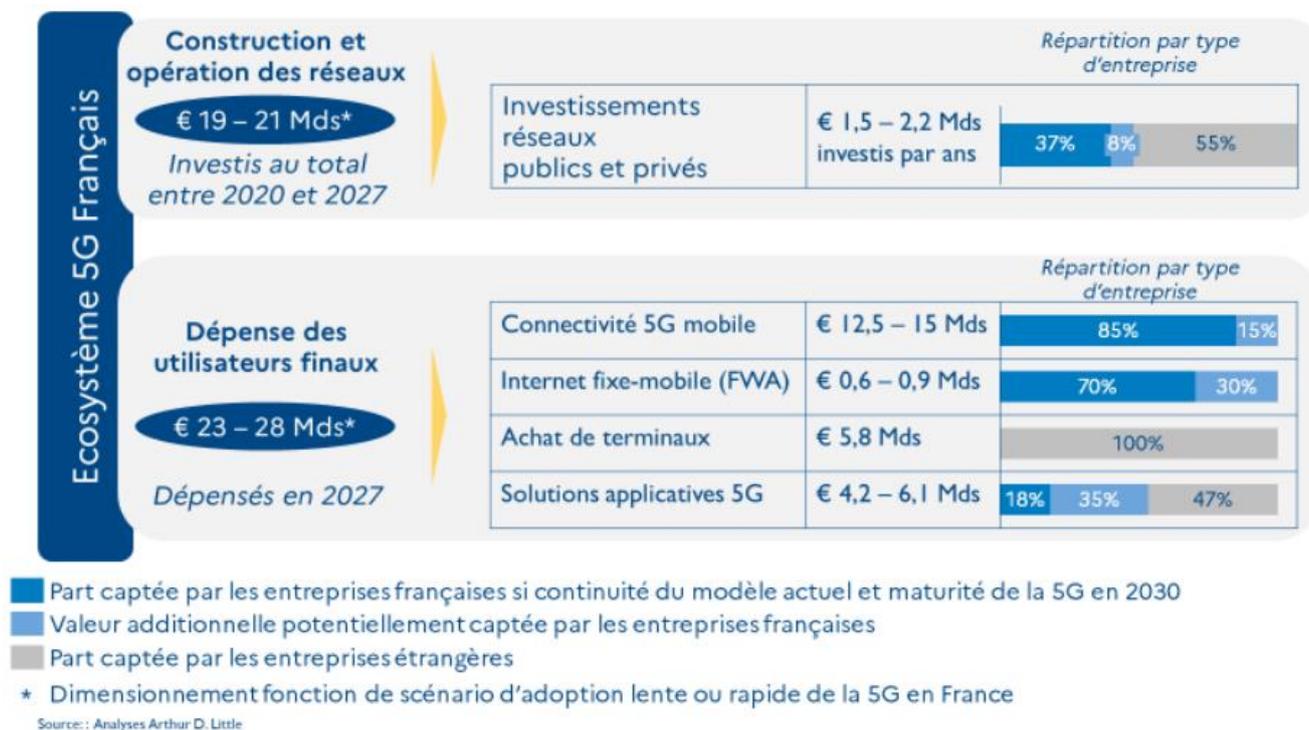
- près d'1 milliard pour la construction et l'exploitation des réseaux (855 millions d'investissement dans les réseaux et 90 millions de coûts pour les licences logicielles et maintenance)
- 1 milliard de dépense par les utilisateurs finaux (essentiellement pour les terminaux)

En utilisant la même méthode, l'IDATE calcule un impact pour 2021 à hauteur de 5,4-5,8 milliards €, décomposés cette fois en :

- 2,2 milliards pour le réseau (1,9 milliard pour l'investissement, 450 millions pour les dépenses liées à l'exploitation et la maintenance)
- 3,2 à 3,6 milliards pour les dépenses des utilisateurs (dont 2,9 à 3,3 milliards pour l'achat de smartphones 5G).

En poursuivant l'exercice, ADL anticipe des dépenses totales liées à la 5G à hauteur de 24,5 milliards à 30 milliards € en 2027, dont l'essentiel cette fois est porté par les utilisateurs finaux (23 à 28 milliards €). En considérant les fourchettes basses et hautes des différents postes de dépenses et des hypothèses quant à la part des industriels français ou produisant en France dans chaque secteur contributeur, l'impact direct sur l'économie nationale serait compris entre 12,4 et 18,1 milliards € (voir données de détail dans graphe ci-après).

Figure 28: Part des dépenses 5G à horizon 2027 captées par les entreprises françaises suivant les scénarios d'évolution de l'offre et de la demande



Source : Observatoire de la filière 5G en France 2021

⁴ Observatoire de la filière 5G en France 2021, produit par ADL

4.2.5. Perspectives de déploiements de sites 5G

Les dernières données de l'observatoire ANFR, à début juin 2022, indiquaient un total de 13 629 sites-opérateurs 5G techniquement opérationnels dans la bande 3,5 GHz, répartis entre les 4 opérateurs mobiles nationaux (de 3 163 pour Bouygues Telecom à 3 740 pour Orange, en passant par 3 266 pour Free Mobile et 3 460 pour SFR).

Au rythme de déploiement enregistré depuis le début de l'année 2022 (+ 3 089 sites-opérateurs 5G NR3500 construits), on peut estimer le parc aux alentours de 17 000 à fin d'année, même en tenant compte d'un léger ralentissement des chantiers dans le courant de l'été. D'ores et déjà en avance sur les engagements des licences, les déploiements le seront plus encore en fin d'année, avec un dépassement attendu de 40 à 50% par rapport aux 12 000 sites (4 x 3 000) requis à cette date.

Nous anticipons que cette avance va perdurer, tout en se réduisant en valeur relative au cours des prochaines années.

Dans les obligations de licences (3,5 GHz), l'ARCEP a par ailleurs indiqué qu'à l'horizon 2024-2025, 25% des sites équipés (du moins 25% du minimum requis) devaient l'être dans des zones peu denses⁵ ou industrielles. Nous avons retenu ce seuil pour 2025, en l'appliquant au total des sites effectivement déployés à cette date, et l'avons porté à 30% pour 2030.

Pour ce qui concerne les autres zones, nous avons considéré :

- d'un côté, les zones très denses, telles que définies dans le Plan France Très Haut Débit⁶,
- de l'autre, les zones denses, qui occupent le large intervalle entre les ZTD et les zones peu denses.

Cette structuration géographique est en particulier celle qui a été retenue dans une étude sur l'impact environnemental de la 5G⁷ dont nous nous sommes inspirés pour nos calculs.

Nous avons ainsi retenu un objectif de couverture à 100% des zones très denses à l'horizon 2030, soit une estimation de 8 915 macrocells équipées, auxquelles s'ajouteraient des smallcells aux fins de densification (y compris pour les lieux d'intérêt), à raison de 3 smallcells pour 1 macrocell, soit un total de 26 745 smallcells à cette date.

Les zones denses seraient également couvertes à 100% à cet horizon, soit une hypothèse de 57 848 sites-opérateurs équipés.

Enfin, pour les zones peu denses, le taux retenu de 30% du total des macrocells équipées conduit à 28 613 sites-opérateurs équipés en 2030.

Les points de passage à 2025 seraient de :

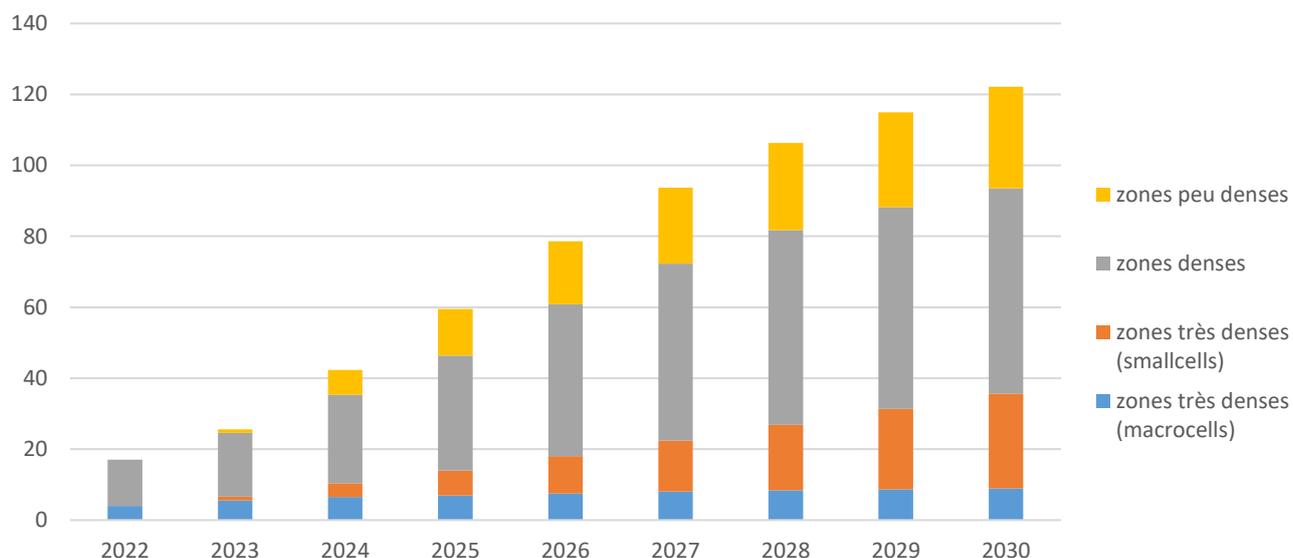
- 7 000 sites-opérateurs équipés en macrocells dans les zones très denses (+ 7 000 en smallcells),
- 32 375 sites-opérateurs équipés dans les zones denses,
- 13 125 sites-opérateurs équipés dans les zones peu denses (soit 25% du total des macrocells).

⁵ Les zones peu denses ont été définies précisément par l'ARCEP à travers une liste de 22 500 communes rurales, couvrant 18% de la population française et 63% du territoire.

⁶ Les zones très denses couvrent, dans une définition révisée, 106 communes, représentant environ 18% de la population de France métropolitaine.

⁷ « Déploiement de la 5G en France : Quel impact sur la consommation d'énergie et l'empreinte carbone ? », CITIZING pour le Haut Conseil pour le Climat, décembre 2020.

Figure 29 : Déploiement des sites-opérateurs 5G en 3,5 GHz sur la France entière (parc à fin d'année, en milliers de sites)

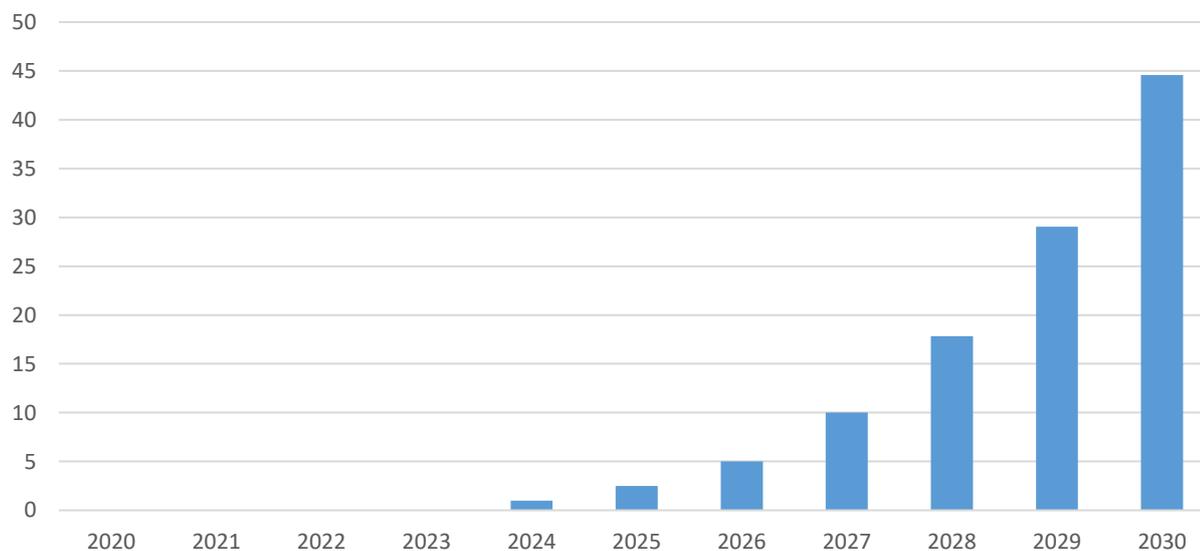


Source : IDATE

Si la bande 26 GHz n'a été ouverte jusqu'alors que pour des expérimentations de 5G industrielle, elle devrait l'être à terme auprès des opérateurs mobiles pour compléter leurs réseaux et leur permettre de bénéficier de toutes les spécificités avancées de cette nouvelle technologie, notamment pour le développement d'offres dédiées pour des réseaux privés.

Nous avons considéré, compte tenu du maillage très fin exigé pour la couverture en 26 GHz que ces équipements étaient déployés dans les zones très denses et les sites d'intérêt. Les déploiements devraient cependant n'être engagés qu'à partir de 2024 avec un objectif de complétude qui porte au-delà de 2030 ; à cette date (2030), nous avons retenu que 50% déploiements seraient effectués, soit 44 575 sites-opérateurs pour un objectif à terme de 89 150.

Figure 30 : Déploiement des sites-opérateurs 5G en 26 GHz sur la France entière (parc à fin d'année, en milliers de sites)



Source : IDATE

4.3. Extinction des réseaux 2G et 3G

Orange vient d'annoncer, à l'occasion du récent Mobile World Congress de Barcelone, l'extinction de ses réseaux 2G et 3G d'ici à 2030 en Europe, et 2028 en France.

Dans l'hexagone, c'est le réseau 2G qui sera éteint en premier lieu et ce, dès 2025, puis la 3G, trois ans plus tard. Ce plan vise à repositionner l'ensemble des services sur les réseaux 4G et 5G, aux capacités bien plus importantes et moins consommateurs en énergie.

Si l'objectif est à portée de main pour les usages téléphoniques, dès lors que plus de 90% des terminaux constituant le parc mobile aujourd'hui en France sont compatibles avec la 4G et que ce taux continue d'augmenter année après année, l'enjeu vis-à-vis des machines connectées (connexions M2M) est plus sérieux. En effet, nombre des solutions aujourd'hui en place, pour les terminaux de paiement, les systèmes d'appel d'urgence, etc. fonctionnent encore sur les technologies 2G ou 3G. L'arrêt de ces réseaux nécessitera donc de basculer les applications M2M vers la 4G ou la 5G, obligeant a minima à changer les puces à l'intérieur des appareils, voire à changer les appareils. S'agissant de flottes souvent conséquentes, le coût pour les clients de ces solutions peut être conséquent.

L'extinction de la 2G est par ailleurs soutenue par plusieurs organisations, qui pointent les failles de sécurité récurrentes sur ce réseau : des failles notamment dans le chiffrement des communications entre l'antenne et l'appareil qui permettraient à des « pirates » d'intercepter des communications, ainsi que dans l'authentification de l'antenne par le terminal, ce qui signifie que ce dernier peut se trouver connecté à une antenne « pirate » elle aussi.

Orange ne sera du reste pas le premier opérateur à fermer des réseaux anciens, jugés obsolètes : aux Etats-Unis, en Corée du Sud, au Japon ou encore à Taïwan, les opérateurs ont déjà désactivé la 2G tandis qu'en Norvège ou en Allemagne, aucun opérateur 3G n'est plus en activité et le mouvement est amorcé aux Etats-Unis à nouveau et s'engage au Royaume-Uni. L'opérateur français indique par ailleurs que le délai de six à sept ans pour parvenir à l'extinction des réseaux est suffisant pour permettre aux clients de machines connectées de faire migrer leur parc.

Et au-delà d'Orange, la question est bien sûr posée aux trois autres opérateurs actifs en France, qui semblent ne pas s'être exprimés sur le sujet jusqu'alors.

5. Réseaux hybrides et problématiques transverses

5.1. Les réseaux mobiles privés

Plusieurs technologies peuvent supporter le développement de réseaux mobiles privés, avec des caractéristiques qui confèrent à chaque solution son lot d'avantages et d'inconvénients.

Figure 31 : Synthèse comparative des solutions pour réseaux mobiles privés

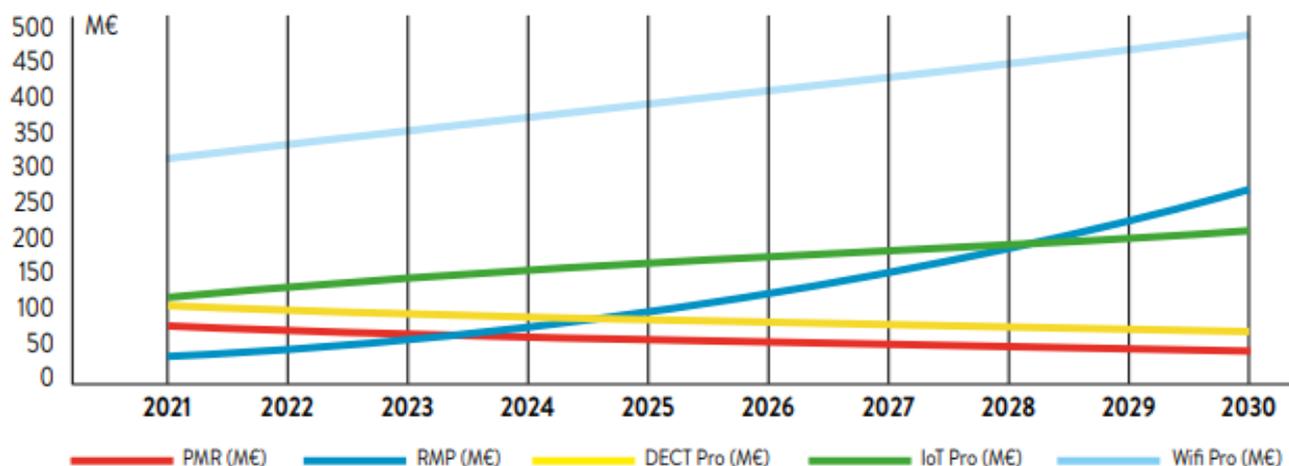
	Couverture intérieure	Couverture extérieure	Mobilité	Qualité de service	Sécurité	Communications critiques	Flux	Coût
WiFi	+	--	--	-	+ lié au réseau	--	-- données uniquement	+++ (uniquement indoor)
DECT	+	-	-	+++ très bonne	+++ voix uniquement	+ sûreté - PTI maintenance	-- téléphonie d'entreprise	-- (CAPEX)
PMR	+++ adaptée aux besoins	+++ adaptée aux besoins	++	+++ très bonne	+++ voix uniquement	+++	-- Talkie-Walkie	-- (CAPEX)
Réseau mobile commerciaux	- publique	+ nationale	++	-- inadaptée	+	-- service non garanti	++ voix et données	+/- OPEX
RMP (4G/5G)	+++ adaptée aux besoins	+++ adaptée aux besoins	++	+++ très bonne	+++ (ANSSI)	+++	+++ voix et données	- (CAPEX)

Source : Etude de marché sur les « Réseaux Mobiles Privatifs », réalisée par LD pour le compte de Nokia, septembre 2021

Ce tableau fait ressortir deux solutions plus particulièrement performantes : PMR (Réseau Mobile Professionnel) et plus encore RMP (Réseau Mobile Privatif). Elles figurent aussi parmi les plus coûteuses, ce qui handicape leur essor. Ce coût, notamment pour les RMP, peut cependant devenir compétitif pour les sites de grande taille ou nécessitant une couverture outdoor tandis que la virtualisation des fonctions cœur et radio peut améliorer la rentabilité de ces systèmes.

Aussi devrait-on voir ces technologies gagner globalement des parts de marché, avec en parallèle une substitution rapide des PMR par les RMP. En France, d'un peu moins de 700 millions € en 2021, le marché des réseaux privés mobiles pourrait dépasser 1 milliard € en 2030 : en son sein, les solutions RMP pourraient passer de 30 millions € en début de période à plus de 250 millions € à l'horizon 2030 (un quart du marché).

Figure 32 : Evolution à 10 ans des parts de marché de différentes solutions de réseaux mobiles privés

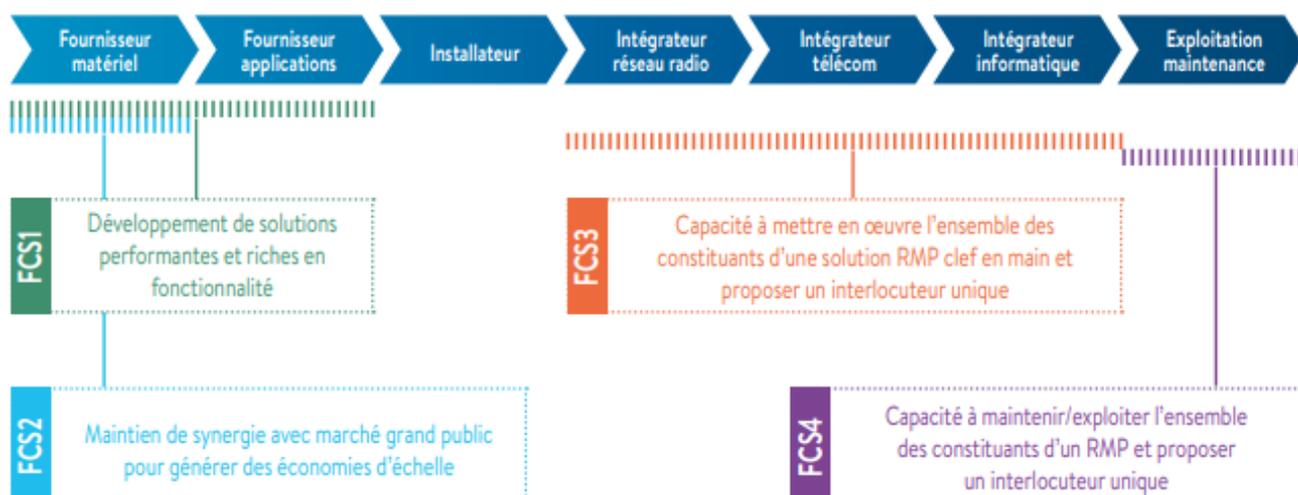


Source : Etude de marché sur les « Réseaux Mobiles Privatifs », réalisée par LD pour le compte de Nokia, septembre 2021

Les critères de choix en faveur d'une solution RMP sont clairement la qualité, les performances et la palette de fonctions. Le prix et le retour sur investissement restent en revanche un frein. Par ailleurs, pour la mise en place d'un RMP, les prospects seraient plutôt intéressés, dans leur très grande majorité (86%), par un contrat global d'intégration et d'exploitation.

Quant aux facteurs clés de succès du côté de l'offre, ce sont ceux qui précisément répondront au mieux aux critères d'achat des clients. On peut les résumer en 4 thèmes (voir illustration) : les deux premiers relèvent des capacités internes de développement des constructeurs, les deux autres font appel aux capacités à proposer des offres globales, via des partenariats (avec interlocuteur unique).

Figure 33 : Les facteurs clés de succès dans la chaîne de valeur des RMP



Source : Etude de marché sur les « Réseaux Mobiles Privatifs », réalisée par LD pour le compte de Nokia, septembre 2021

Concrètement en France, de nombreux développements ont été engagés ces dernières années (à ADP, Lacroix Electronics...) pour des applications industrielles basées sur des réseaux 4G ; la technologie 5G, à travers ses fonctionnalités avancées, devrait attirer bien plus encore. La plupart des projets engagés s'appuient d'ailleurs sur des solutions évolutives 5G pour faciliter la migration tandis que diverses expérimentations, lancées récemment, visent à tester directement le potentiel de la 5G industrielle (cf. infra).

5.1.1. La 5G industrielle

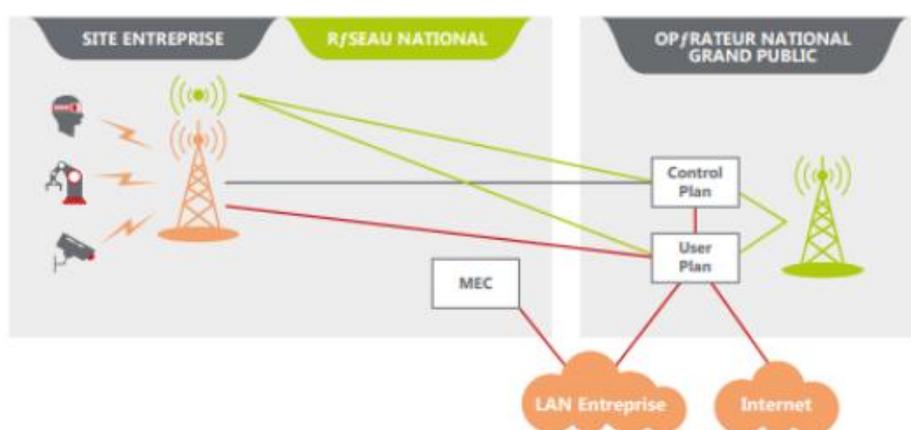
Comme indiqué plus haut, la technologie 5G ouvre la voie, par ses caractéristiques, à des usages industriels avancés (« Industrie 4.0 »). Les concrétisations sont déjà nombreuses, notamment dans les pays asiatiques, et singulièrement en Chine.

La 5G et l'ensemble des technologies et applicatifs associés doivent en effet permettre de mettre en place des bâtiments, usines et lieux connectés et intelligents, avec des outils équipés de capteurs pouvant communiquer entre eux sur leur état et leur fonctionnement en temps réel et permettant de prendre des décisions adéquates instantanées.

Plusieurs modalités pratiques de déploiement des réseaux mobiles privatifs 5G sont envisageables.

- Déploiement à partir du réseau 5G public

Figure 34 : Architecture de réseau mobile professionnel s'appuyant sur le « network slicing »

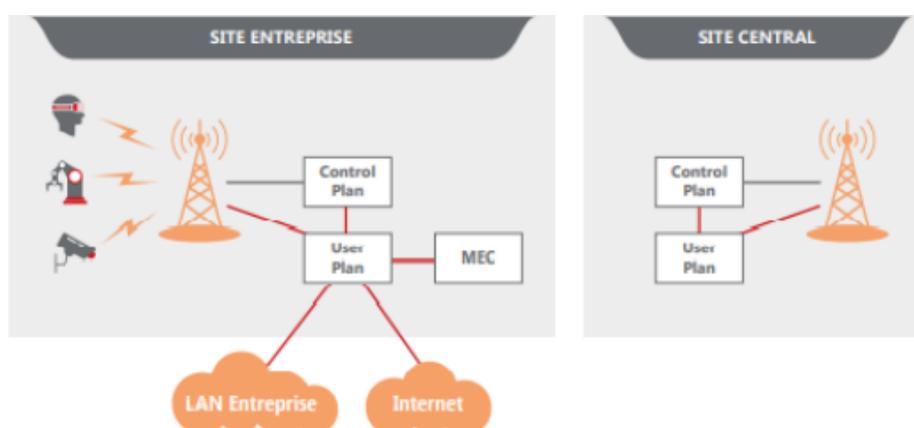


Source: Hub One

A travers le « network slicing », caractéristique clé de la 5G, le réseau 5G public pourra être divisé en tranches de réseaux distinctes. Les usages industriels pourront ainsi être « séparés » des usages publics au sein d'un même réseau.

- Déploiement de réseau privé 5G

Figure 35 : Architecture de réseau mobile professionnel privée dédiée « sur site »

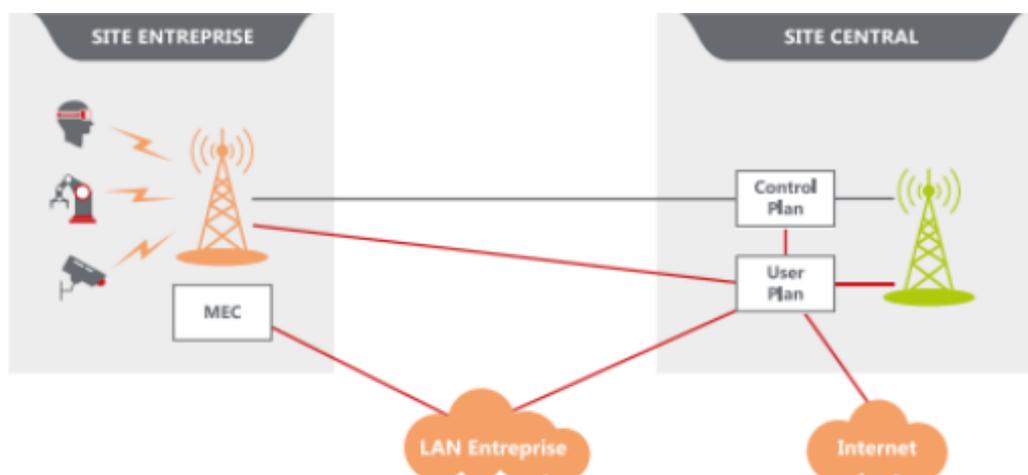


Source: Hub One

Il s'agit d'un réseau qui utilise des bandes de fréquences dédiées et repose sur des infrastructures propres, incluant un cœur de réseau.

- Déploiement de réseau hybride

Figure 36 : Architecture de réseau mobile professionnel hybride avec le cœur de réseau distant du site radio de l'entreprise



Source: Hub One

Il s'agit d'un réseau reposant en partie sur des infrastructures propres et en partie sur des infrastructures mises à disposition par un tiers (souvent le cœur de réseau).

Figure 37 : Analyse comparée des réseaux privés et publics

	Réseau public	Réseau privé
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Approche prudente (petit volume) ▪ Expertise extérieure 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Couverture sur mesure ▪ Connecter un gros volume d'objets sur le même site ▪ Répondre aux exigences de sécurité (gestion en propre de données collectées) ▪ Maitrise des coûts ▪ Intéressant pour les structures avec budget CAPEX
Points faibles	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coût proportionnel au nombre d'objets ▪ Tributaire de la couverture et de la QoS de l'opérateur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coût important au lancement du projet ▪ Nécessité d'avoir une vision moyen terme du déploiement ▪ Expertise en interne peut être nécessaire

Source : IDATE DigiWorld

Les nombreux avantages qui ressortent de ce tableau en faveur des réseaux privés (qu'il faut bien sûr nuancer selon les besoins spécifiques de chaque entreprise) vont dans le sens des résultats de l'enquête réalisée par LD sur les perspectives des RMP sur le marché français. Les entreprises semblent en effet préférer, dans leur très grande majorité, des solutions contrôlées de bout en bout⁸. Outre la question des compétences, qu'ils peuvent acquérir via le recours à des intégrateurs, c'est aussi une question de moyens. En amont de l'achat des équipements et de l'exploitation d'un réseau privé, il faut aussi régler la question de l'accès aux fréquences.

⁸ Résultat d'un sondage réalisé par LD dans le cadre de l'étude de marché de septembre 2021 sur les « Réseaux Mobiles Privatifs » en France : 86% des interrogés indiquent une préférence pour la mise en œuvre d'un réseau 4G privatif via un contrat global d'intégration et d'exploitation.

Le rapport de la mission 5G industrielle a d'ailleurs relevé que les modalités d'accès aux fréquences constituaient un "frein à l'adoption de la 5G par les industriels" et avait recommandé un plan d'action pour faciliter et élargir l'accès à des fréquences dédiées, plan d'ores et déjà largement mis en œuvre par l'ARCEP.

Figure 38 : L'accès aux fréquences par les industriels

Recommandation N°1 : Faciliter et élargir l'accès à des fréquences dédiées aux réseaux 5G privés pour les industriels afin de créer un appel d'air pour les projets industriels.

La procédure d'accès à ces fréquences utiles aux industriels doit se baser sur un triple principe : simplicité, transparence, facilité (notamment au niveau du coût).

Le plan d'action opérationnel de la recommandation est :

- ouvrir un guichet pour des expérimentations d'usages industriels de la 5G dans une partie de la bande 3,8-4,2 GHz. Ce guichet, qui repose sur la mobilisation du Gouvernement et de l'ARCEP, devrait respecter les différentes contraintes et usages existants dans cette bande ;
- simplifier les modalités existantes d'accès à la bande 2,57 – 2,62 GHz TDD. Cette révision devra se traduire par : (i) un ajustement des modalités de calcul du montant des redevances adapté aux besoins industriels, et (ii) un ajustement de la procédure d'attribution pour faciliter sa prise en main par les industriels ;
- inciter les industriels à formaliser leurs besoins ainsi que leurs attentes envers les opérateurs nationaux, titulaires des licences pour la bande 3,4-3,8 GHz, afin de leur permettre de fournir des offres en adéquation avec leurs besoins ;
- en corollaire : inciter les opérateurs nationaux, titulaires des licences pour la bande 3,4-3,8 GHz, à formuler des offres en adéquation avec les besoins des industriels souhaitant accéder à la 5G industrielle.

Source : Rapport de la mission 5G industrielle

En France, dans un marché émergent, plusieurs acteurs (en plus des opérateurs mobiles) commencent à se positionner pour la fourniture de solutions pour le déploiement des réseaux 5G privés, adaptées aux besoins des sites industriels.

L'ARCEP et le gouvernement ont lancé dès 2019 un appel à la création de plateformes d'expérimentation 5G dans la bande des 26 GHz, visant précisément à « identifier les nouveaux usages de la 5G ».

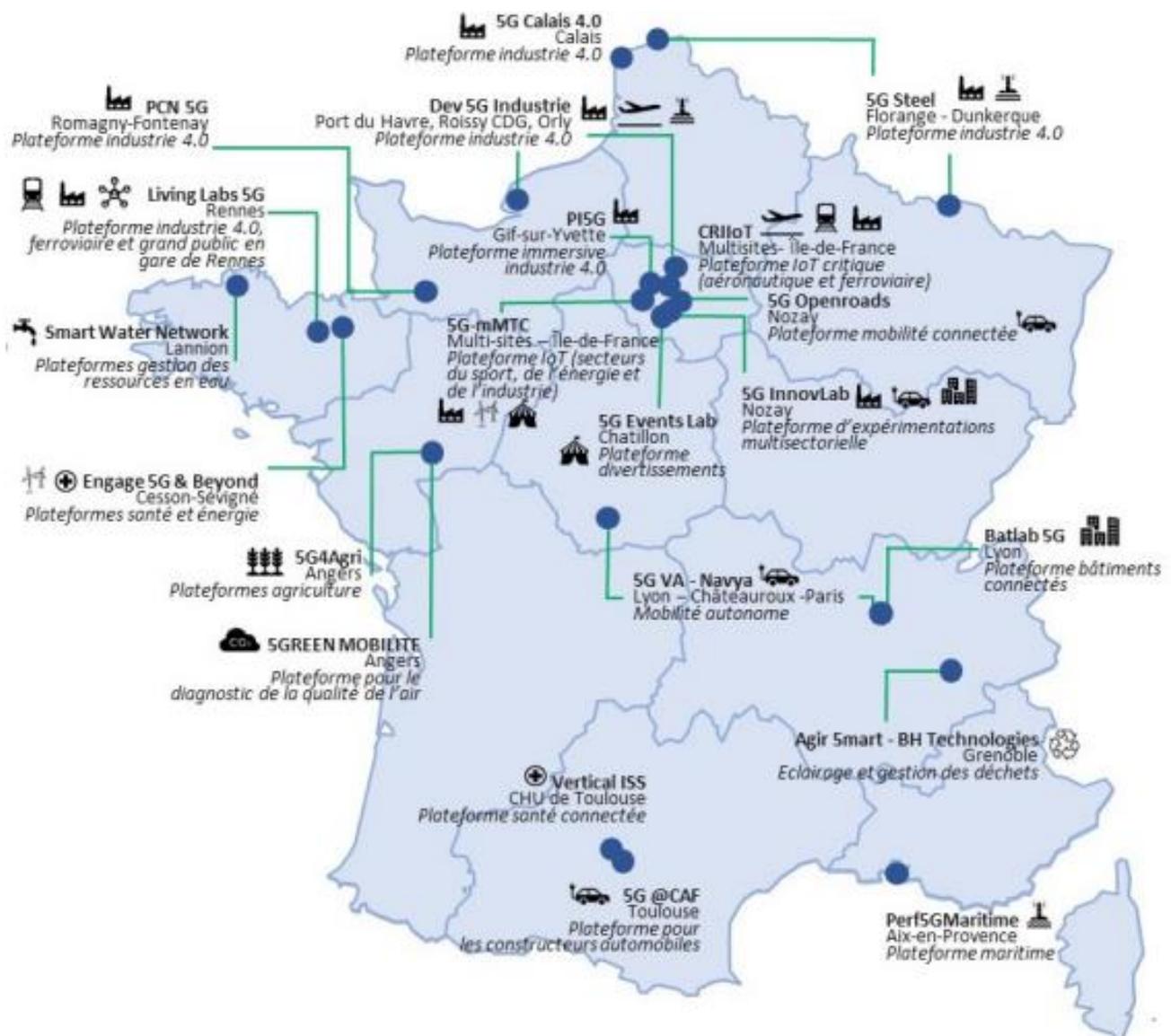
Un Appel à Projets a par ailleurs été lancé en août 2020 dans le cadre du Plan de Relance pour l'industrie puis de la Stratégie d'accélération sur la 5G et les futures technologies de télécommunications. Sur les 21 projets retenus et soutenus, 9 portent sur la 5G industrielle (voir carte ci-après), s'ajoutant aux initiatives privées lancées par ailleurs.

Cadre réglementaire des réseaux mobiles privés en France

Le déploiement de solutions 5G industrielles dépend en partie de la capacité des industriels à accéder aux fréquences. Actuellement ils disposent de plusieurs possibilités :

- L'attribution dans la bande 2.6 GHz, dans le cadre d'un guichet dédié ouvert par l'ARCEP dès 2019, puis dans la bande 26 GHz, dans le cadre d'un guichet expérimental ouvert la même année
- L'attribution de la bande 3.8 GHz dans le cadre d'un guichet d'expérimentations ouvert par l'ARCEP et le gouvernement depuis mars 2022
- L'accès aux fréquences d'un des quatre opérateurs nationaux dans la « bande-cœur » de la 5G 3.5 GHz qui leur a été attribuée en 2020 (et dont les licences font l'objet d'obligations en matière d'ouverture pour des réseaux d'entreprise).

Figure 39 : Projets de plateformes d'expérimentation des usages 5G soutenues dans le cadre du plan France relance et de la stratégie d'accélération sur la 5G



Source : DGE

Cas d'usage de la 5G industrielle

Quelques cas d'usage de la 5G industrielle sont répertoriés. Il existe cependant une grande variété d'applications non ou partiellement explorées à ce jour et qui pourraient donner lieu à des développements à moyen terme.

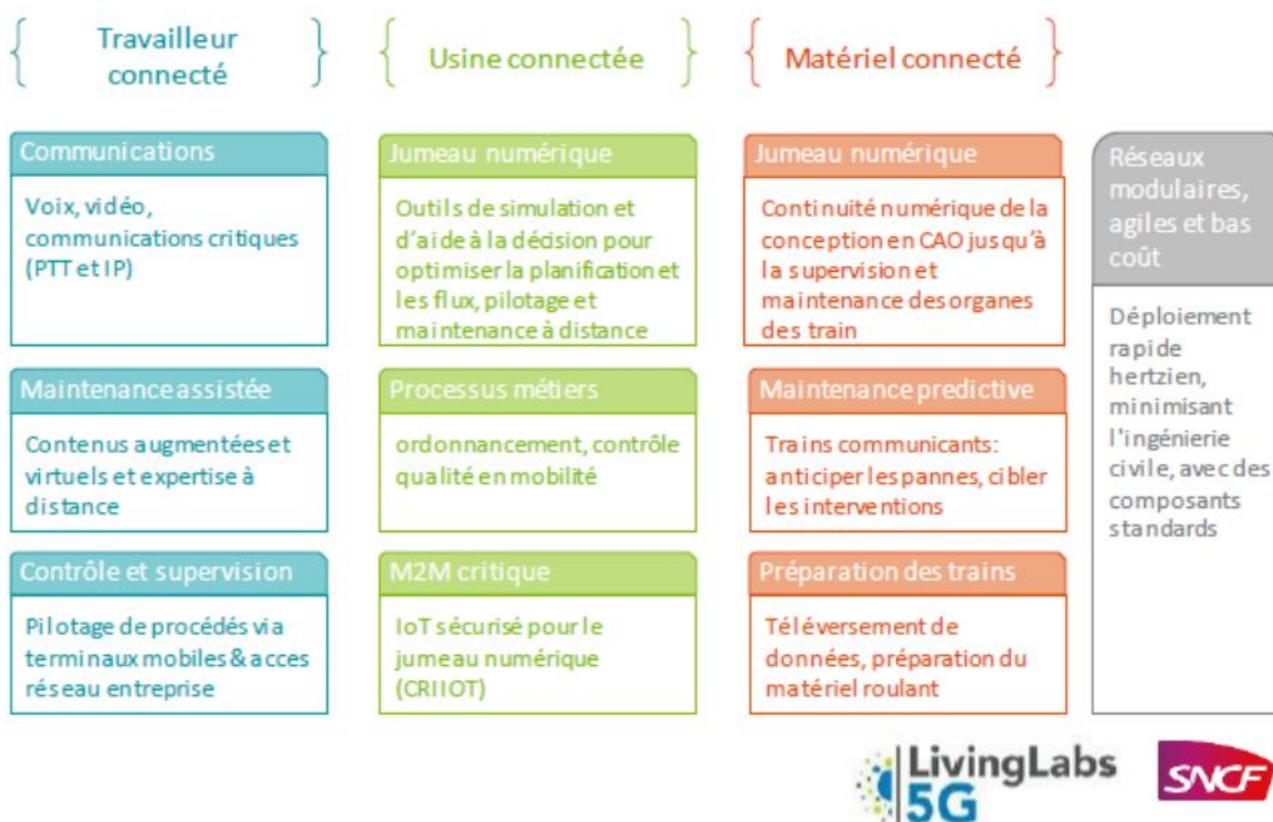
Gare de Rennes

La SNCF, en association avec Orange et Nokia, a lancé une plateforme d'expérimentations 5G dans la gare de Rennes en juillet 2019. La plateforme prévoit de tester des cas d'usages à la fois destinés aux passagers et aux agents SNCF (outils métiers).

Pour les usagers, l'amélioration du confort dans l'attente est un objectif. A partir de hotspots 5G, différents usages sont envisagés, comme un service de téléchargement quasi-instantané d'un film ou d'une série.

Pour le développement des outils métiers, la 5G permettrait d'imaginer des applications nécessitant un ultra haut débit (formation en réalité augmentée, maintenance à distance en réalité augmentée, traitement massif de données de pilotage des trains). La SNCF a d'ailleurs identifié une vaste palette d'usages industriels de la 5G applicables à ses besoins internes (cf schéma ci-après).

Figure 40: Cas d'usage industriels de la 5G identifiés par la SNCF



Source : SNCF

Port du Havre

La plateforme d'expérimentation 5G du port du Havre permet d'explorer et de tester des applications de la 5G dans un contexte portuaire et industriel. Plusieurs applications sont déployées ou en cours de déploiement tel que le pilotage des opérations logistiques sur le territoire portuaire, notamment l'exploitation des terminaux à conteneurs, l'optimisation de la gestion des flux de personnes et de biens, la mise en place d'une navette autonome entre le port et la ville et la détection d'incidents par drone.

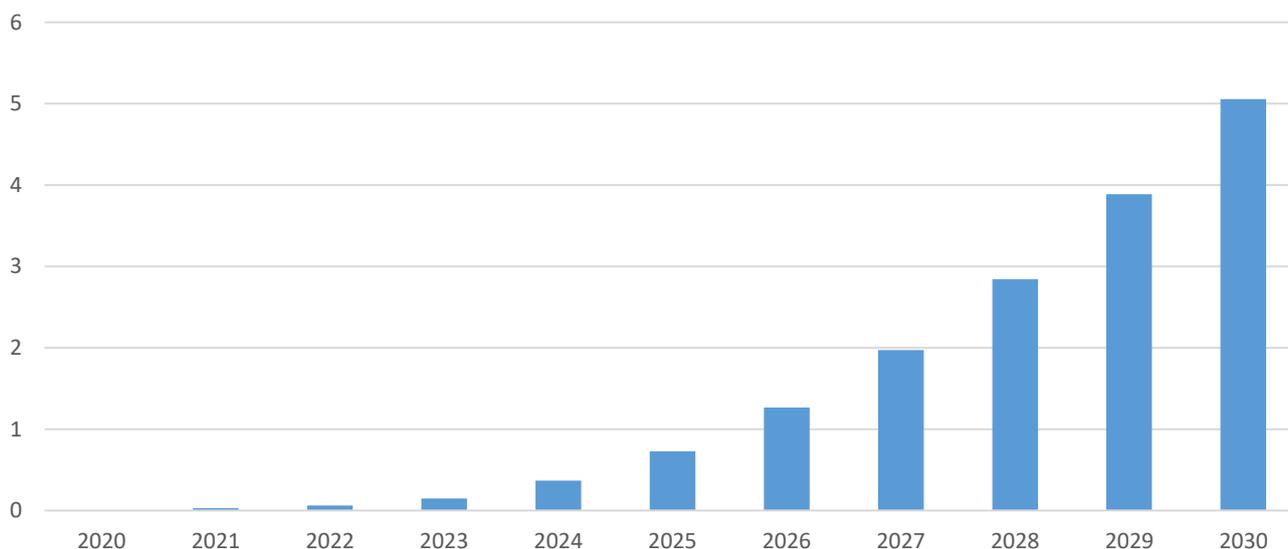
5.1.2. Perspectives de déploiements de sites 5G dans la bande 26 GHz

Les expérimentations de 5G industrielle ont été ouvertes dans les bandes 2.6 GHz et 26 GHz et, suite aux préconisations du rapport de mission ad hoc, de nouvelles bandes ont commencé à être ouvertes (3.8 GHz).

Si quelques réseaux privés ont pu se constituer autour de la 4G, il s'agit là toutefois d'un marché relativement nouveau et nous ne disposons que de peu d'éléments en retour pour opérer des prévisions sur la 5G. En outre, si le rapport de LD (déjà mentionné, voir supra) fait état d'une appétence marquée des acteurs économiques pour des réseaux privés « propriétaires », autrement dit des réseaux privés, nombre d'observateurs considèrent que la barrière à l'entrée en terme d'investissement constituera néanmoins un frein.

Dès lors, nous avons pris comme hypothèse que cela intéressait les établissements de 500 employés et plus, à raison d'une cellule par établissement, et que 50% des unités de cette catégorie seront équipées en 2030. Les établissements de plus petite taille, potentiellement intéressés également à des réseaux 5G privés, recourraient, pour des raisons économiques, aux offres dédiées des opérateurs mobiles. Bien sûr, il y a une certaine porosité vis-à-vis de cette ligne de partage (avec des établissements de grande taille plutôt intéressés à des réseaux privés et des unités de plus petite taille désireuses de disposer de réseaux privés) mais elle permet de fixer des objectifs chiffrés, en l'occurrence 5 054 sites à couvrir mode privé à l'horizon 2030 (soit la moitié des 10 108 établissements de 500 personnes et plus anticipés à cette date)..

Figure 41 : Déploiement des sites privés 5G (parc à fin d'année, en milliers de sites)



Source : IDATE

5.2. IoT

5.2.1. Définition

L'internet des objets (IoT) n'est pas en tant que tel un champ d'investigation émergent (en particulier dans des cas d'usages industriels ou grand public). Il renvoie à des systèmes basés sur des réseaux d'objets communicants, capables de créer et transmettre des données afin de créer de la valeur pour ses utilisateurs à travers divers services (analytique, nouveaux services).

Avec plus de 5 milliards de terminaux IoT connectés en 2020, le marché mondial continuera à croître avec une croissance annuelle moyenne de plus de 13% entre 2020 et 2030.

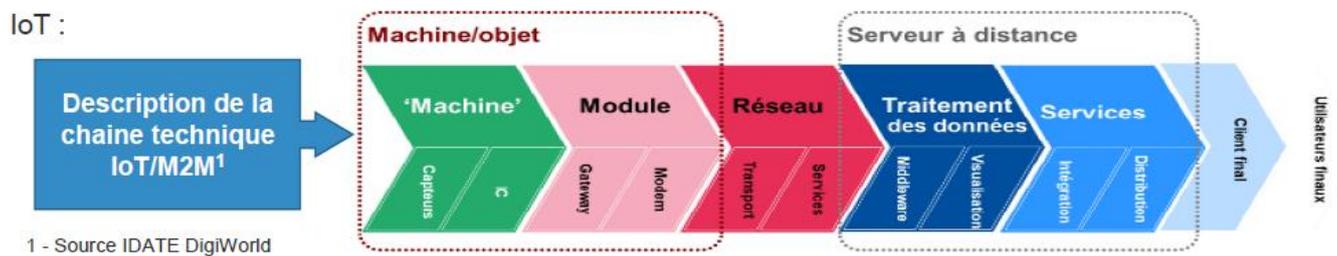
5.2.2. Aspects techniques

Chaîne de valeur IoT

La chaîne de valeur de l'IoT s'articule autour des trois grands domaines :

- L'**objet** : à savoir tous les objets et capteurs connectés à Internet,
- La **connectivité** au réseau Internet,
- La **plateforme de gestion des données** : qui permet de collecter, analyser et héberger toutes les données tout en gérant l'interface avec l'application pour l'utilisateur final.

Figure 42 : Chaîne de valeur IoT

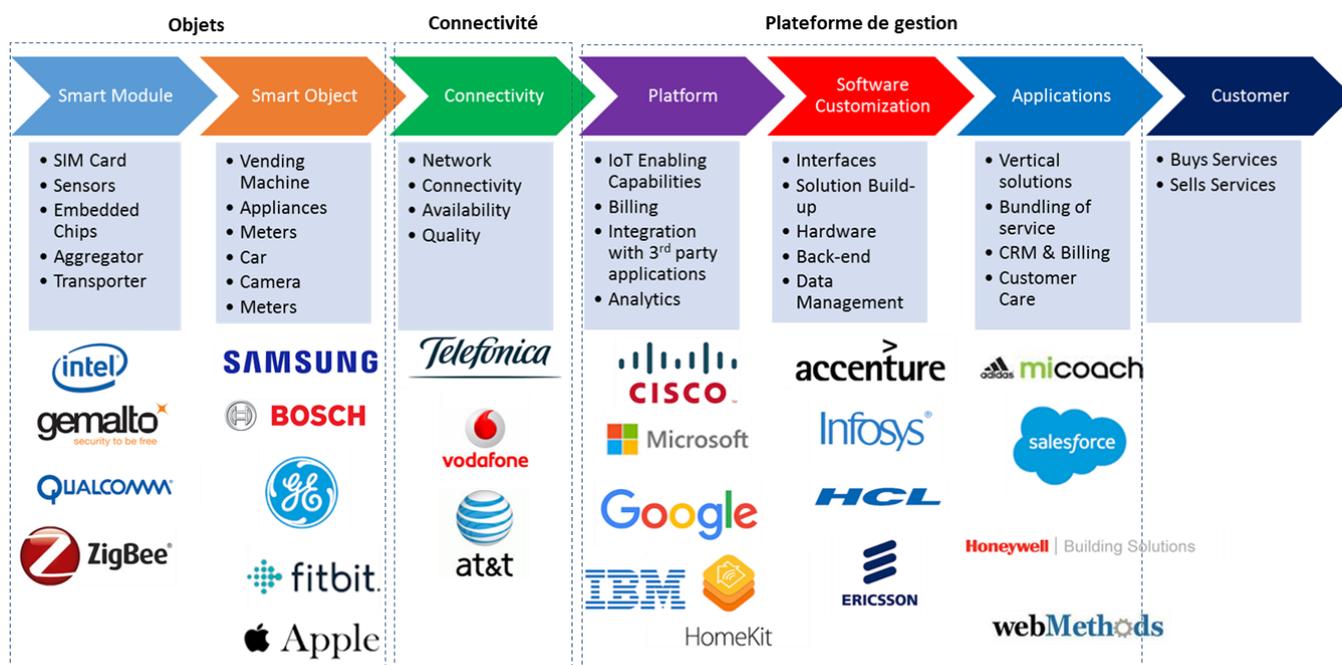


Source : IDATE Digiworld

L'objet (*hardware*) correspond principalement aux différents « capteurs » à déployer. Très liés aux cas d'usages et répondant à des besoins spécifiques, ils présentent des caractéristiques diverses :

- pour partie intrinsèques au domaine couvert : types de mesure attendus, fréquence d'envoi des données, niveau d'intelligence associé,
- mais aussi de nature plus générique : notamment au regard de la consommation d'énergie et de la durée de vie.

Figure 43 : Chaîne de valeur IoT - détail



Note, the above is not an exhaustive list of companies and any company may have play in more than one component of value chain
Copyright: Telecomcircle.com

Source : Prowesys

Réseaux IoT : Un environnement technologique encore « non stabilisé »

Pour faire face à la demande croissante, des réseaux dédiés à l'IoT ont été développés un peu partout dans le monde. Plusieurs technologies sont envisageables pour assurer la connectivité.

Diverses technologies ont ainsi émergé autour des réseaux à bas débit, réseaux dits LPWAN (longue portée et basse consommation) avec des options et des caractéristiques très différentes :

- utilisant du spectre licencié ou non,
- permettant d'opérer des réseaux privés ou non.

L'environnement technologique est encore très fragmenté, l'IDATE DigiWorld a ainsi recensé plus de 25 technologies sur ce segment. Cette atomisation suscite deux griefs principaux du côté utilisateur :

- un manque de lisibilité entraînant une adoption plus lente (beaucoup de tests techniques),
- des doutes sur la pérennité des réseaux en cours de déploiement.

Dans ce contexte, 5 technologies se détachent néanmoins : Sigfox, LoRaWAN, LTE-M, NB-IoT et la 5G à partir de 2023.

Figure 44 : Technologies réseaux IoT

	Technologies non licenciées		Technologies licenciées	
				
	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie sans licence, interférences potentielles avec d'autres technologies • Principale préoccupation des industriels : ce sont des technologies non standardisées • La couverture est encore limitée en dehors de l'Europe • Très souvent utilisées par les projets IoT de territoires connectés 		<ul style="list-style-type: none"> • Déployées par les plus grands opérateurs mobiles, gage de crédibilité pour les industriels • Technologies au cœur des spécifications de l'IoT massif de la 5G • Mise en œuvre très récente de la technologie (pas de communication officielle sur son adoption réelle) • Problèmes techniques actuels concernant le déploiement (roaming etc.) 	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Une très faible consommation d'énergie et donc une longue durée de vie de la batterie comme caractéristique principale. • Fonction d'itinérance par défaut. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les réseaux privés comme atout majeur • Des performances techniques plus dynamiques (débit de données flexible, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie standardisée • Faible consommation d'énergie • Adaptée à l'évolution de la 5G • Grande popularité en Chine 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie standardisée • Gestion de la mobilité. • Adaptée à l'évolution de la 5G
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Échec commercial (pionnier du LPWAN) • En redressement judiciaire depuis janvier 2022 • Nombreux doutes sur la durabilité de la technologie à moyen terme • Couverture limitée en dehors de l'Europe 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'itinérance par défaut : des accords d'itinérance individuels sont nécessaires • Échec commercial sur le réseau public • Couverture limitée en dehors de l'Europe 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de gestion de la mobilité. • Disponibilité limitée de l'itinérance. • Adoption limitée pour les réseaux privés. • Adoption encore très limitée par le marché chinois 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'itinérance par défaut • Performances inférieures (débit binaire et portée) par rapport à la concurrence • Pas de réseaux privés
Couverture (Adoption par les opérateurs mobiles)			<ul style="list-style-type: none"> • 104 réseaux NB-IoT déployés par les opérateurs mobiles du monde entier, soit 66% de l'ensemble des réseaux IoT mobiles • L'Europe est la région qui a le plus de réseaux NB-IoT déployés 	<ul style="list-style-type: none"> • 52 réseaux LTE-M ont été déployés par des opérateurs de réseaux mobiles en mars 2021 ce qui représente près de 33% du total des réseaux LPWAN sous licence

La 5G est dans la feuille de route IoT avec des fonctionnalités supplémentaires : certains acteurs lorgnent en effet sur les réseaux 5G privés qui pourraient répondre à leurs besoins applicatifs avec la 5G Massive IoT (performances comparables à LoRaWAN mais aussi avec la 5G URLLC QoS de haut niveau) qui n'est pas disponible sur les réseaux LoRaWAN. Des applications IoT massives 5G devraient être commercialisées à partir de 2023.

Les plateformes IoT : le cœur de la chaîne de valeur IoT

La plateforme IoT centralise les communications des objets connectés. Elle gère la connexion et le pilotage des objets connectés, afin d'assurer la collecte, le stockage, l'analyse et l'exploitation de leurs données.

Il y aurait plus de 600 plateformes IoT commercialisées dans le monde : chaque acteur de la chaîne de valeur IoT a développé sa propre solution. Cette multiplicité d'offres a créé une confusion autour des plateformes IoT. Des partenariats se mettent en place afin d'éliminer cette dispersion du marché et délivrer une solution IoT de bout en bout pour les clients finaux.

Chaque plateforme IoT a des capacités techniques différentes en fonction des cas d'usage auxquels elle est destinée :

- Fonctionnalités pour l'exploitation de l'infrastructure : gestion du parc de capteurs, gestion de l'état du parc, gestion des protocoles pour traiter les données (réception, stockage, exploitation), gestion de l'hétérogénéité des protocoles des capteurs, gestion des liens ascendants (uplink) et descendants (downlink) vers les capteurs,
- Fonctionnalités de supervision (gestion des profils administrateur / gestionnaire / utilisateur),
- Fonctionnalités de visualisation des données (data visualisation),
- Intégration avec les applications métiers,
- Sécurisation des briques logicielles et des données (possibilité de cryptage des données),
- Hébergement.

5.2.3. Cas d'usages

Figure 45 : Différents cas d'usage identifiés pour l'IoT

Secteur	Applications
Industrie automobile	Voiture connectée / Voiture autonome
Logistique	Gestion de flotte pour les camions, bateaux, trains, avions Gestion des conteneurs et des palettes
Industrie (Usine)	Robots connectés / Machines industrielles connectées
Energie	Compteurs connectés (électricité, gaz, eau)
Agriculture	Suivi de la localisation et de la santé du bétail Gestion et suivi des machines agricoles Capteurs d'humidité du sol / Stations météo / Suivi du climat / Silos connectés / Stock de foin connecté
Santé	Suivi en temps réel de l'état du patient Suivi à distance de l'état de santé des malades chroniques
Villes connectées	Capteurs de surveillance de la qualité de l'air et du taux de pollution Eclairage Public avec capteurs de détection Parkings intelligents Vidéo surveillance de l'espace public avec caméras intelligentes
Bâtiments connectés	Suivi et gestion du chauffage, ventilation et climatisation / Contrôle de l'éclairage à distance / Ascenseurs connectés / Système de sécurité
Maisons connectées	Energie et éclairage / Systèmes de sécurité / Appareils électroniques connectés
Commerce de détail	Distributeurs automatiques connectés / Paiement sécurisé dématérialisé
Sport et bien-être	Montres connectées / Bracelets connectés / Balances connectés et autres accessoires

Equipements électroniques	Drones / Caméras / Liseuses / GPS...
Transport de passagers	Gestion de flotte des bus / trains / bateaux / avions
Activité minière et travaux publics	Ouvrier connecté / Suivi et contrôle des équipements de construction
Pétrole et Gaz	Gestion des pipelines (températures/pressions) / Surveillance des réservoirs
Sécurité publique	Prévention des catastrophes naturelles (tremblements de terre, tsunami, feu de forêt) / Gestion des voitures de polices, pompiers
Militaire	Suivi et localisation des équipements et véhicules militaires / Soldat connecté

Source : IDATE Digiworld 2021

5.2.4. Perspectives de déploiements des réseaux IoT

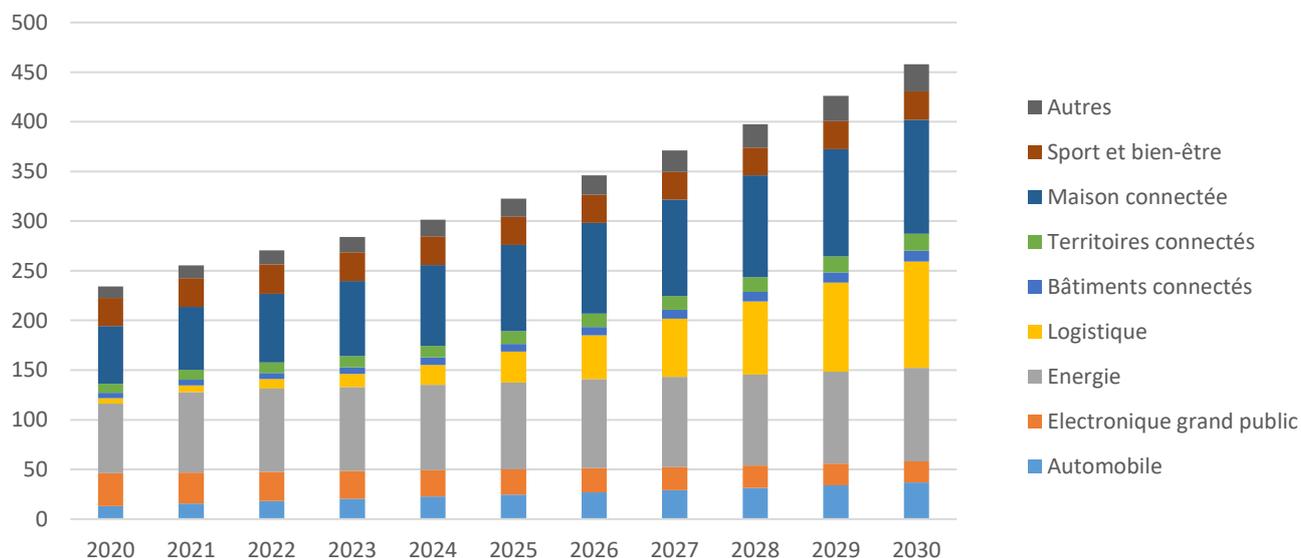
L'IDATE suit depuis plus de 10 ans les marchés mondiaux de l'IoT dans ses dimensions applicatives (par verticale), géographiques (par grande région dans le monde) et dynamiques (données historiques et prévisions). Dans la dernière livraison de la base, nous avons travaillé sur des prévisions à l'horizon 2030 et nous sommes appuyés sur les données calculées pour la région Europe pour les traduire à l'échelon français.

Le nombre total d'objets connectés en France devrait, sur ces bases, dépasser 450 millions en France en 2030, en quasi-doublement sur 10 ans.

La dynamique serait particulièrement forte pour le secteur de la logistique, qui pourrait voir une multiplication par 20 de son parc de capteurs dans la période et concentrerait près du quart du total des objets connectés en 2030. Devant lui, la maison connectée représenterait un peu plus du quart du parc à cette date : on notera toutefois que ce segment repose pour une très large part sur les téléviseurs connectés, des équipements « plug and play » dont les fonctionnalités ne sont d'ailleurs souvent pas activées.

Autre point de vigilance, le segment des territoires connectés, qui apparait ici, est traité de manière séparée et plus détaillée dans la partie qui lui est consacrée (voir 3.3).

Figure 46 : Objets connectés en France par verticale (parc à fin d'année, en millions)

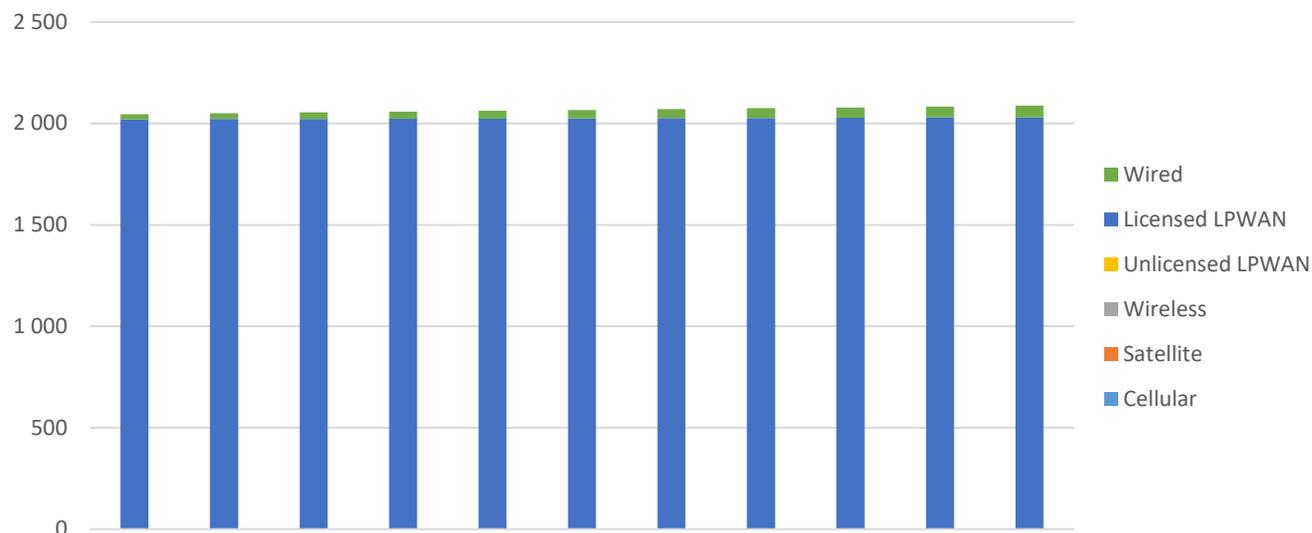


* Le segment « Autres » recouvre les verticales Agriculture, Santé, Industrie, Militaire, Industrie minière et TP, industrie pétrolière et gaz, Transport de passagers, Sécurité publique et Commerce de détail

Source : IDATE, d'après World IoT Markets

De même, sur le plan des technologies supports, les réseaux cellulaires (pour la partie M2M) ont été traités par ailleurs.

Figure 47 : Objets connectés en France par technologie (parc à fin d'année, en millions)



Source : IDATE, d'après World IoT Markets

5.3. Territoires connectés

5.3.1. Définition

Un territoire connecté ou territoire intelligent peut être défini comme une zone dans laquelle des services publics et des politiques publiques sont pilotés par la donnée, à travers différents outils numériques. Ils permettent de répondre à de nouveaux besoins des usagers, d'améliorer la qualité de vie, de favoriser l'économie sociale et solidaire et de sécuriser les zones urbaines, économiques, agricoles, rurales ou forestières.

Il n'existe pas de modèle unique ou de vision commune de territoire connecté : aujourd'hui en France, les projets de construction de territoires connectés opèrent des choix très différents les uns des autres :

- Thématiques diverses d'un projet à l'autre (sécurité, énergie, eau, mobilité, déchets, environnement, gestion de la relation usager)
- Choix technologiques variés (pour les réseaux, les capteurs, le stockage et le traitement de données)
- Différentes parties prenantes (les collectivités territoriales, les acteurs privés, les citoyens...)

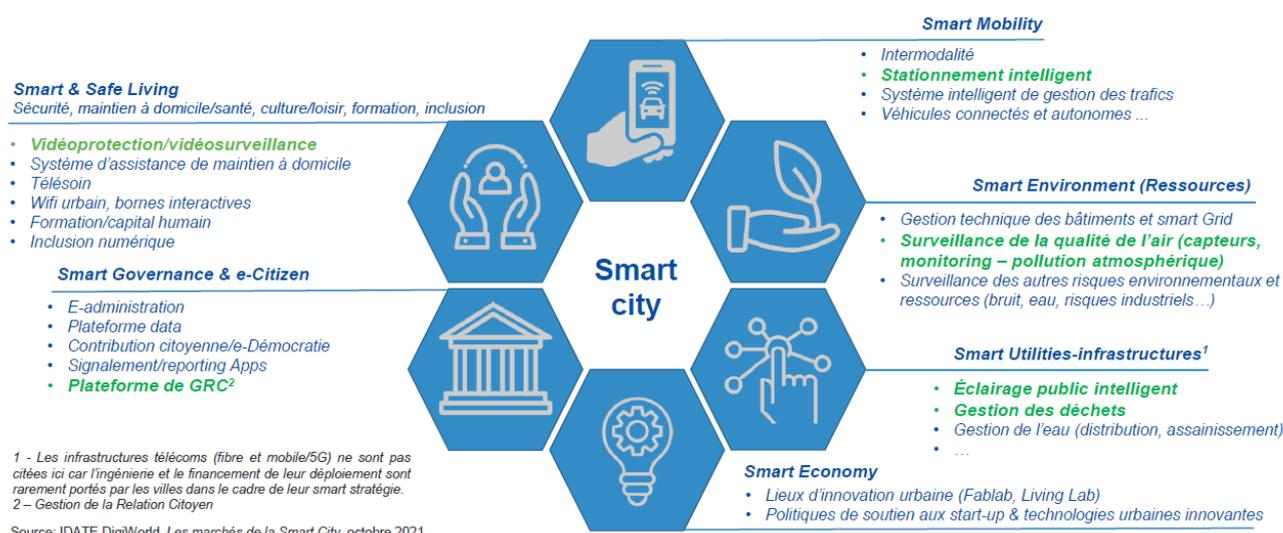
Les projets lancés peuvent se baser sur l'expérience des projets déjà réalisés et sur une logique itérative et progressive. La construction se fait alors de manière incrémentale à travers l'implémentation d'un premier cas d'usage, de l'accompagnement des parties prenantes et de l'évaluation et ajustements graduels et adaptés.

Projet après projet, cette méthode devrait permettre d'arriver à une certaine maturité en termes de territoires connectés à horizon 2030.

5.3.2. Thématiques et cas d'usage des territoires intelligents

Plusieurs projets de territoires intelligents sont déjà mis en place. De ces premières expériences, on retient que les domaines prioritaires sont aujourd'hui en France la gestion de la mobilité (transports et stationnement), de l'énergie/éclairage, de l'eau et des déchets.

Figure 48 : Cas d'usage liés aux territoires intelligents



Source : IDATE Digiworld 2021

Quelques exemples concrets de cas d'usage dans les domaines prioritaires investis par les collectivités en France :

- Mobilité :
 - o Développement des mobilités douces, plan vélo à Caux vallée de Seine
 - o Véhicules autonomes, camions équipés de capteurs pour évaluer l'état de la circulation à Rennes Métropole
 - o Rotation des livraisons, stationnement à Dijon Métropole
 - o Relevés en temps réel de mobilité à la Communauté de Communes du Pays Haut Val d'Alzette (CCPHVA, en région Grand Est)
 - o Feux de signalisation intelligents à Nice Métropole Côte d'Azur
- Gestion de l'énergie/éclairage :
 - o Déploiement de l'IoT sur l'ensemble des systèmes de production d'énergie renouvelable pour le Syndicat Intercommunal d'Energies du département de la Loire (SIEL 42)
 - o Déploiement des boucles d'énergie locales à Rennes Métropole
 - o Développement des quartiers à énergie positive à Dijon Métropole et pour le Grand Lyon
 - o Reconstruction de points lumineux, passage en LED à Dijon Métropole, à Toulouse Métropole et pour le Syndicat Départemental d'Energie et d'équipement du Finistère (SDEF)
- Gestion de l'eau :
 - o Qualité de l'eau, évaluation des risques de crues à Cozzano en Corse et pour le SDEF
- Gestion des déchets :
 - o Relevé des points d'apport volontaires, optimisation des tournées de collecte, pesée des bacs, camions équipés de capteurs à Rennes Métropole (+ structuration des filières de biodéchets)
 - o Projet de territoire déchets connectés, relevé en temps réel de l'utilisation de la déchetterie, bacs connectés permettant une tarification incitative à la CCPHVA

5.3.3. Choix technologiques pour les territoires intelligents

Les choix technologiques relèvent des collectivités et de leurs élus. Face à des évolutions technologiques rapides combinées à des cycles d'obsolescence parfois courts, les choix technologiques doivent être avisés et cohérents avec les usages et les impacts attendus ou encore la durée d'amortissement possible. Les choix portent par ailleurs sur les différents éléments de la chaîne (voir tableau ci-après), avec des enjeux variés :

- aligner les investissements avec les objectifs stratégiques portés par le territoire (pas de dogmatisme technologique),
- éviter le morcèlement et privilégier les solutions complémentaires, interopérables (intégration) et réversibles,
- prendre en compte les enjeux de sécurité, de souveraineté, de transparence, de sobriété et d'inclusion numérique,
- prévoir les mesures d'accompagnement au changement pour tous les acteurs des territoires connectés.

Les collectivités locales ont un rôle clé pour relever les défis sociétaux ; en l'espèce, elles sont en demande d'éléments objectivés pour décider de mobiliser les outils les plus efficaces et tendre vers une grande sobriété énergétique et la neutralité carbone des services publics fournis, sans nuire à la qualité.

Figure 49 : Eléments techniques des réseaux de territoires intelligents

Eléments technologiques

Capteurs	Capteurs de données en fonction du cas d'usage (température, luminosité, qualité de l'air...)
Réseaux	Fibre, 4G, 5G, réseaux bas débit IoT, Wifi
Hébergement	Adapté en fonction de la sensibilité des données (datacenters locaux, cloud...)
Gestion des données (couche logicielle)	<ul style="list-style-type: none"> • Systèmes d'hypervision : interface unique pour une vision complète sur l'état des lieux, le contrôle et le pilotage à distance, la corrélation de données pour produire des analyses • Jumeaux numériques : réplique de tous les éléments du territoire numérique. Il permet de tester différentes configurations en intégrant un nombre important de variables • Intelligence artificielle : employée pour décupler les capacités d'analyse et de prise de décision par la production et l'exploitation d'algorithmes (basés sur le machine learning)

Source : DATA PUBLICA – KPMG « Étude Territoire intelligent et donnée publique » - octobre 2021

5.3.4. Parties prenantes

Plusieurs parties prenantes de différents horizons sont mobilisées pour les projets de territoire intelligent :

Les collectivités territoriales : elles sont les commanditaires, décisionnaires, maîtres d'ouvrage, gestionnaires, pour la conception du projet de territoire intelligent. Elles en sont les décideurs et les bénéficiaires avec les citoyens et les usagers. Il revient aux élus de choisir les priorités du territoire intelligent à travers un projet politique.

Les acteurs privés : ils interviennent dans le champ du territoire intelligent et sont très divers (bureaux d'études, intégrateurs, opérateurs télécoms, start-up...)

Les accompagnateurs des territoires : ils créent les conditions pour que se rencontrent l'offre et la demande. Ils ont à la fois un rôle de facilitateur, de fluidificateur et d'orchestrateur (fédérations et réseaux professionnels, incubateurs, syndicats...)

L'État, les acteurs publics nationaux et européens : l'État intervient de multiples manières et soutient de nombreux projets d'envergure à travers des programmes d'investissement.

Les citoyens et usagers : ils sont les bénéficiaires finaux des services des territoires intelligents mais le citoyen est aussi perçu, parfois, comme réfractaire ou force d'opposition.

Autres acteurs : les établissements de recherche et d'enseignement, les acteurs sectoriels...

Figure 50 : Cartographie des parties prenantes du territoire intelligent



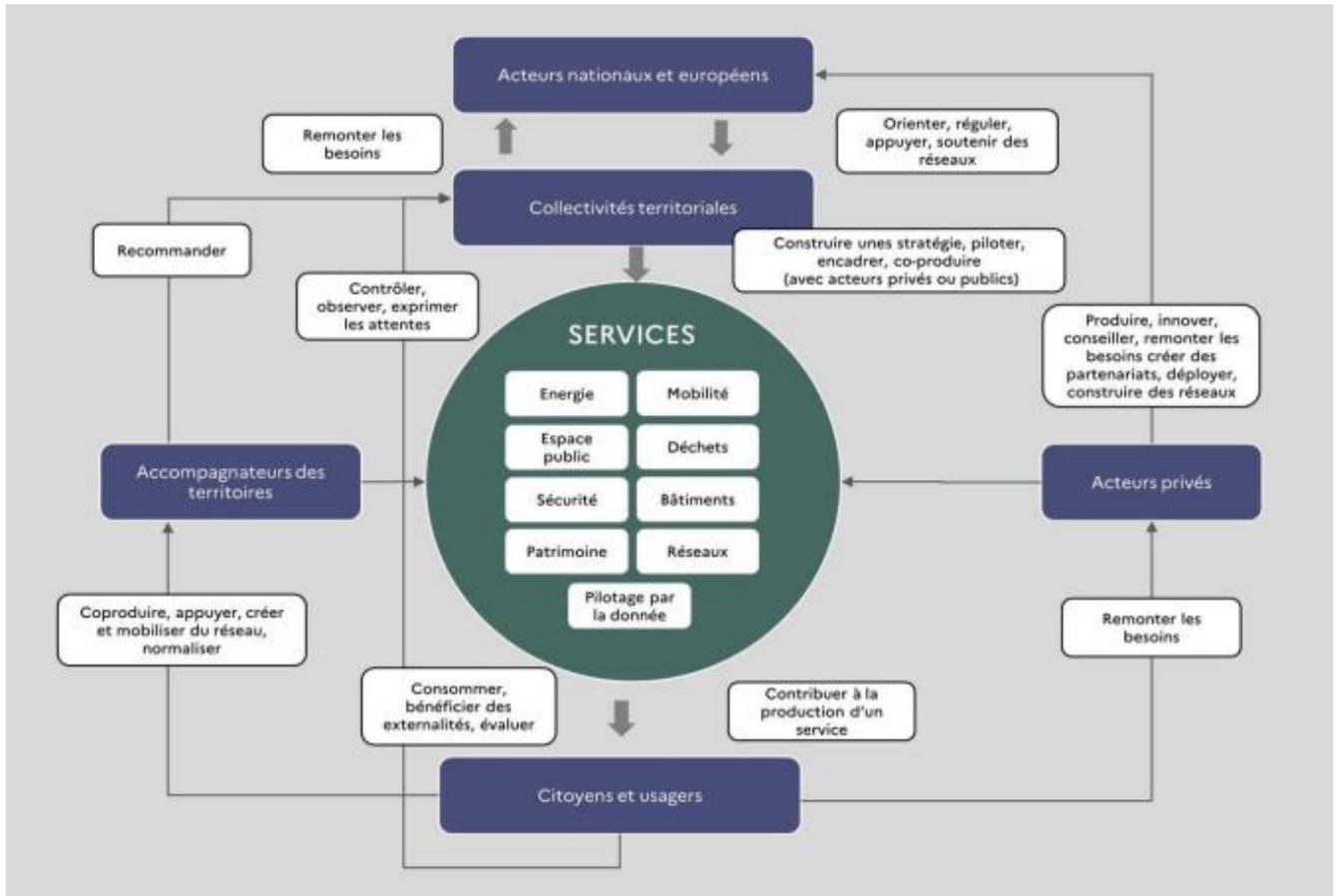
Source : DATA PUBLICA – KPMG « Étude Territoire intelligent et donnée publique » - octobre 2021

5.3.5. Quel modèle ?

En France depuis le milieu des années 2010, une quarantaine de collectivités, métropoles et agglomérations pour l'essentiel, ont conçu et déployé des projets de territoire intelligent. Près de 200 territoires auraient par ailleurs lancé quelques premières étapes, le plus souvent sur une seule activité.

Si le mouvement semble lancé, nous n'en sommes qu'au tout début et il est difficile de discerner, à l'analyse des premières initiatives, les facteurs clés de succès et encore moins une approche modèle. On peut définir un schéma conceptuel de la chaîne de valeur (cf infra) mais force est de constater que les différents éléments sont loin d'être stabilisés. Connaissance des besoins des collectivités, calibrage des offres, partage des stratégies d'achat, organisation des marchés publics, intégration des producteurs de services, cadre d'intervention des parties prenantes, choix des solutions, impact des réglementations, maturité des cas d'usage... sont autant de sujets encore en débat.

Figure 51 : Chaîne de valeur des territoires intelligents



Source : DATA PUBLICA – KPMG « Étude Territoire intelligent et donnée publique » - octobre 2021

Dans l'observation que l'on peut faire des initiatives de territoires connectés, deux approches cohabitent :

- Une approche globale, qui dessine un projet d'ensemble sur un territoire et organise dès le démarrage les différentes étapes de déploiement dans le temps,
- Une approche itérative, qui définit les projets les uns après les autres, site par site ou activité par activité, procédant d'une logique incrémentale.

La première approche, plus ambitieuse (voir exemple de OnDijon ci-après) n'est cependant pas aujourd'hui la plus répandue.

Figure 52 : Dijon, exemple emblématique de l'approche globale

OnDijon

- Le projet de territoire intelligent de Dijon est bien connu. Engagé en 2015, il a été et demeure précurseur en France. Son modèle juridique, sa gouvernance, ses choix technologiques en font une référence possible pour les projets globaux de *smart city* (voir en détail par ailleurs).
- Dijon a été également le premier territoire français à expérimenter de nouvelles formes de coopérations entre la collectivité, son écosystème et un consortium d'entreprises (Bouygues, CITELUM, SUEZ et Cap Gemini) très impliquées dans la conception et la mise en œuvre mais aussi l'animation du dispositif.
- La création de la marque OnDijon en est l'une des traductions. Au service du marketing territorial de la Métropole, cette marque est aussi un repère pour la communication des entreprises et de nombreux partenaires.
- Acteurs publics et acteurs privés du territoire bénéficient des retombées en termes d'emploi mais aussi de ressources et de compétences nouvelles. Ainsi par exemple, l'Université de Bourgogne a-t-elle créé l'un tout premier master consacré à la gouvernance des données dans les territoires intelligents.

Source : Dossier de la DGE « De la smart city à la réalité des territoires connectés » - octobre 2021

Se fondant sur l'analyse des nombreux cas de figure observables aujourd'hui sur le territoire national, et sur les éléments de contexte qui les sous-tendent, l'étude « De la smart city à la réalité des territoires connectés »⁹ décrit ce que pourrait être *in fine* un modèle français de territoire intelligent, qui aurait les qualités suivantes :

- un modèle politique, à la fois porté par une vision globale et ancré dans les contextes locaux
- ouvert et démocratique, en plaçant le citoyen au cœur du dispositif
- partageur et solidaire, prônant la mutualisation à différentes échelles,
- protecteur et hybride, favorisant l'inclusion numérique,
- sobre et technologique, par une transition numérique maîtrisée,
- souverain, avec des solutions locales et sécurisées,
- gouvernable, à travers des approches pragmatiques.

En matière d'infrastructures, on observe un intérêt et des initiatives en faveur d'une mutualisation des moyens :

- Un certain nombre d'équipements publics installés peuvent être utilisés pour d'autres usages que ceux prévus initialement (exemples des caméras de vidéosurveillance qui peuvent servir aussi à mesurer des affluences, des lampadaires qui peuvent servir de mâts pour installer des capteurs...)
- Les infrastructures numériques en tant que telles peuvent être aussi utilement mutualisées :

⁹ « De la smart city à la réalité des territoires connectés : l'émergence d'un modèle français ? », publiée dans le cadre des dossiers de la DGE, octobre 2021

ainsi, les mêmes équipements de collecte, de stockage et de traitement de données peuvent servir des usages distincts

- Enfin, les collectivités elles-mêmes peuvent choisir de mettre des moyens en commun entre elles.

Ce mouvement est toutefois limité et se heurte encore à des réticences, tant de la part de collectivités qui cherchent des solutions pour répondre de manière dédiée à leurs besoins, que de la part de délégataires peu désireux de partager des services, des plateformes ou des données qu'ils pourraient valoriser par ailleurs.

5.3.6. Opportunités et problématiques engendrées par les territoires connectés

Le développement des territoires connectés est source de réelles opportunités.

Les collectivités qui s'emparent du sujet et font de l'innovation numérique un sujet politique ou même une politique publique à part entière ambitionnent de :

- Créer de nouveaux services publics, répondre à des attentes exprimées ou latentes, ou répondre à une absence d'alternative (privée)
- Améliorer la qualité des services publics existants, augmenter la satisfaction des usagers, réaliser des économies de mise en œuvre des services rendus (rendement/efficience).

La liste d'applications portées dans la figure 40 montre qu'un grand nombre de cas d'usage sont encore peu ou pas explorés, ce qui constitue autant d'opportunités de marchés à terme, avec des besoins non seulement sur le plan technique, mais aussi juridique et social.

Le champ des territoires connectés constitue aussi un relais de croissance, voire de diversification, économique pour les acteurs (industrie et services) de la filière des infrastructures numériques, tant pour la mise en place et l'exploitation de réseaux locaux dédiés que pour le raccordement complet des structures publiques (bâtiments et voies) au réseau national très haut débit.

Mais les problématiques sont aussi très nombreuses, liées notamment aux méthodes, aux critères de choix, eux-mêmes pâtissant d'une chaîne de valeur encore en pleine construction et d'un manque de recul et d'expériences qui feraient ressortir des bonnes pratiques. Il n'y a pas de modèles tout faits, encore moins de modèle unique, ce qui peut constituer également une opportunité.

Les besoins des collectivités sont aujourd'hui encore mal définis, les offres encore mal calibrées, les stratégies d'achat peu partagées, les marchés publics silotés, les producteurs de services encore peu intégrés, le cadre d'intervention des parties prenantes relativement inexistant. Les collectivités manquent d'expertise et de moyens pour lutter contre les cybermenaces), des contradictions fortes apparaissent (solutions open source, coût des mises sous format standards de données), des nouvelles réglementations peuvent impacter les modèles économiques en cours d'élaboration, beaucoup de cas d'usage ne sont pas assez matures pour un passage à l'échelle.

Ce paysage encore incertain nuit à l'investissement des collectivités et des grands opérateurs qui exploitent les services publics pour leur compte, qui aspirent au contraire à une certaine stabilité pour réduire les incertitudes et opérer des choix durables.

En outre, la diversité des territoires rend l'appréhension du marché plus fragmentée, avec des cas d'usage et des options techniques différents selon les géographies

Les enjeux de la mutualisation et de l'interopérabilité font aussi obstacle à la diffusion des territoires intelligents. Ils ne concernent pas uniquement le volet technique mais se posent également sur le plan organisationnel et économique, avec la recherche notamment :

- de modalités efficaces à grande échelle de mutualisation des investissements et de la gestion des nouveaux outils numériques ;
- des formes juridiques les plus efficaces d'acquisition des nouveaux outils numériques des

territoires intelligents ;

- d'une modélisation économique des investissements liés à la transformation digitale de l'action publique et la mesure des différentes formes de retour sur ces investissements ;
- d'un développement à l'échelle française, sinon européenne voire mondiale, de standards et de normes favorisant l'interopérabilité des systèmes déployés.

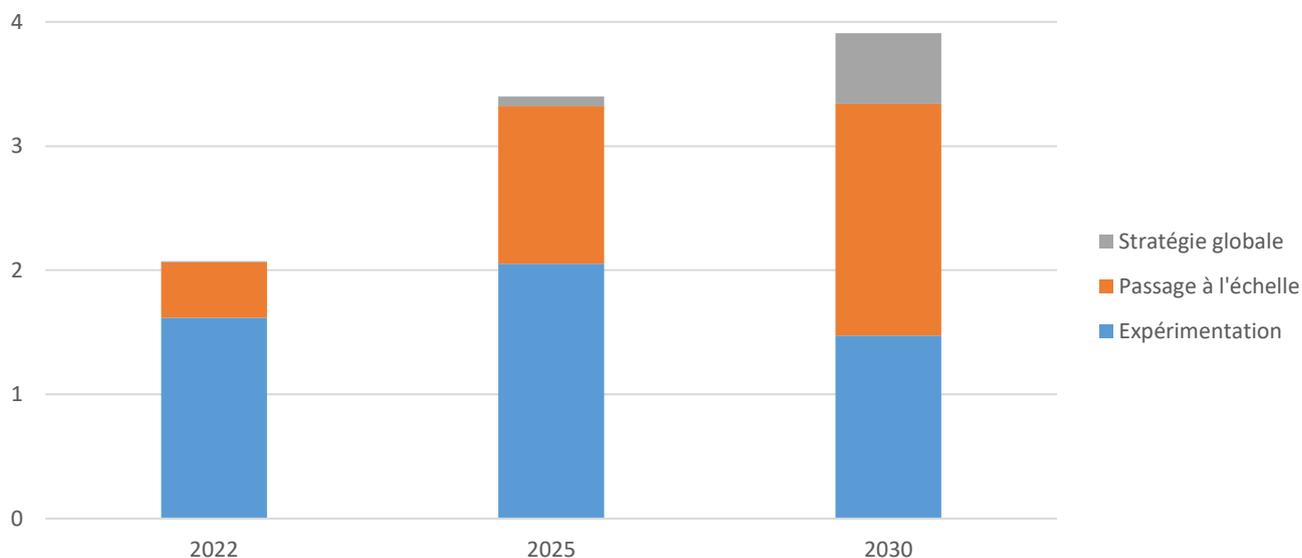
5.3.7. Perspectives de déploiements des territoires connectés

L'IDATE a réalisé très récemment, pour le compte d'Infranum, une enquête auprès de collectivités locales (plus de 100 réponses) visant à mesurer leur niveau de maturité en matière de territoires connectés, les réalisations ou les perspectives associées le cas échéant.

Il est ressorti de ce travail que 25% des collectivités territoriales ont réalisé un diagnostic (hormis les communes de moins de 3 500 habitants, en « sommeil » au regard de ces thématiques ou dont les réalisations sont portées par un échelon supérieur, intercommunal notamment). Plus concrètement, 30 à 80% des collectivités (toujours hors communes de moins de 3 500 habitants), selon la taille et le type, ont déployé ou déploient des cas d'usage.

Sur ces bases, nous avons simulé le nombre de diagnostics et de projets, en 2022 et 2025. Nous avons par ailleurs considéré que toutes les collectivités de plus de 3 500 habitants (soit un total de 3 909, auraient lancé des projets en 2030.

Figure 53 : Collectivités territoriales portant des projets de territoire connecté, par niveau de maturité (collectivités de plus de 3 500 habitants, en milliers)

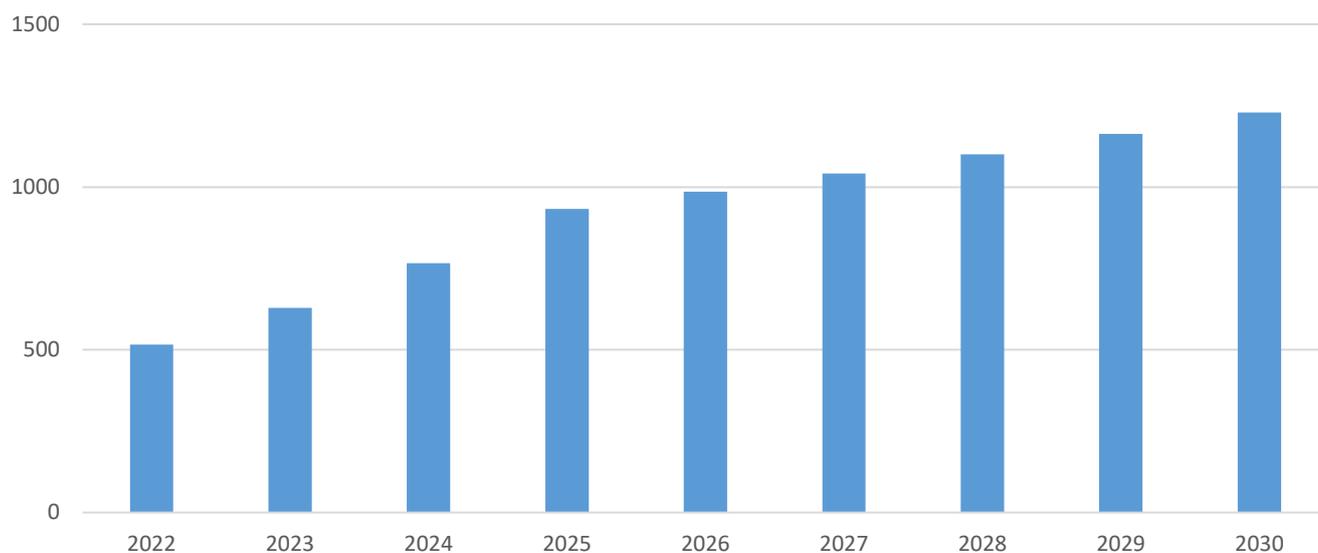


* en outre, 921 collectivités mèneraient des diagnostics en 2022, 1 727 en 2025 et 2 200 en 2030 (les diagnostics pouvant porter sur des sujets applicatifs différents au cours du temps, au-delà des projets lancés)

Source : IDATE, d'après enquête pour Infranum (données 2022)

Par ailleurs, à partir d'hypothèses moyennes sur le dimensionnement des travaux et des projets dans chaque position (diagnostic, expérimentation, passage à l'échelle, stratégie globale) et pour chaque catégorie de collectivités (communes de 3 500 à 5 000 habitants, de 5 000 à 10 000, de plus de 10 000, EPCI, départements ou régions, syndicats mixtes), nous avons simulé les budgets année après année entre 2022 et 2030.

Figure 54 : Budget annuel consolidé des projets de territoires connectés (millions d'euros)



Source : IDATE, d'après enquête pour Infranum (données en volume 2022)

5.4. Datacenters

5.4.1. Chaîne de valeur et typologie des datacenters

Les datacenters, dans lesquels sont hébergées et traitées des volumes toujours plus conséquents de données, s'inscrivent dans un écosystème numérique que l'on définit généralement en 4 groupes :

Les **hébergeurs informatiques (exploitants de datacenters)** qui construisent et exploitent des datacenters, soit pour le compte de tiers dont ils hébergent les données et/ou applications, soit pour leur propre compte ;

Les **opérateurs télécoms** qui déploient des réseaux télécoms ou informatiques. Ces réseaux ont toujours besoin d'hébergement, pour des routeurs, des serveurs de données ou d'applications réseaux, pour de l'archivage, mais également pour des services de Cloud. Tous les opérateurs se sont lancés dans l'activité d'hébergement ;

Les **développeurs de logiciels**, sociétés de développement de sites internet, mais aussi d'applications de type SaaS, bénéficient de la possibilité d'héberger dans les datacenters locaux des applications diverses. Pour les utilisateurs locaux, l'hébergement dans un data center local permet de meilleurs temps d'accès aux données ;

Les **producteurs de données**, sociétés de type banques, assurances, mais aussi les hôpitaux, les acteurs publics locaux, les sites d'enseignements supérieurs et recherches (Universités, Ecoles, ...), sociétés d'ingénierie produisent un volume considérable de données électroniques dont elles doivent assurer la conservation. Cette dernière catégorie est représentée par des acteurs publics ou privés qui investissent dans des datacenters pour leurs propres besoins informatiques.

On comprend donc dès lors que la création d'un datacenter s'inscrit dans un **environnement complexe à forte valeur ajoutée**. Plusieurs acteurs, dont les activités sont complémentaires, peuvent ainsi proposer des services qui s'inscrivent dans la chaîne des services aux professionnels.

Le schéma ci-dessous représente ces différents types d'acteurs et identifie quelques entreprises par catégorie : cette liste est non-exhaustive.

Figure 55 : Typologies des acteurs de l'écosystème autour des datacenters



Différentes stratégies commerciales sont développées par les « hébergeurs » pour adresser leurs clients, parmi les trois premières catégories d'acteurs évoquées précédemment. Ainsi on distingue généralement 4 typologies de datacenters à vocation commerciale :

- **Les datacenters « neutres internationaux »** : ce sont des acteurs spécialistes de la location d'espaces et d'énergie sécurisés qui construisent des infrastructures et dont les seuls services se résument bien souvent à la production des services de bases du Datacenter. Généralement, ils adressent les grands comptes et grandes entreprises ou les éditeurs de logiciels, les acteurs du Cloud et les Opérateurs télécoms.
- **Les datacenters nationaux** : ce sont des acteurs généralement issus du monde télécom et/ou informatique qui propose de la location d'espaces et d'énergie sécurisés et également souvent des services de Cloud publics, privés, ou hybrides. Généralement, ils adressent tous les secteurs et tailles d'acteurs d'un territoire.
- **Les datacenters « des hyperscalers »** : on y retrouve tous les acteurs IT qui s'appuient soit sur leurs propres infrastructures, soit sur des datacenters neutres pour construire leurs propres services IT, notamment les services de Cloud. Généralement, ils adressent les clients de tout type de taille et de secteurs d'activité.
- **Les datacenters de proximité** : il s'agit des acteurs IT qui s'appuient sur leurs datacenters pour construire leurs propres services IT, notamment les services de Cloud. Comme les datacenters virtuels, généralement, ils adressent les clients de tout type de taille et de secteurs d'activité, mais leur marché est souvent en local autour de leur zone d'implantation.

Figure 56 : Différents types d'hébergeurs

Terminologie	Adressage du marché	Stratégie commerciale	Exemples (1)	Typologie de clients
Datacenters neutres Internationaux	International	Colocation (énergie + espace + interconnexion réseau)		<ul style="list-style-type: none"> • Hyperscalers (AWS, Google, Microsoft, IBM, Oracle, Salesforce, ...) • MNC's / NC's / ETI • ESN • Editeurs de logiciels • Opérateurs télécoms
Datacenters Nationaux (2)	National	Colocation (énergie + espace + interconnexion réseau) Services de Cloud Public et/ou Hybride		<ul style="list-style-type: none"> • Entreprises : TPE / PME / ETI / NM's & MNC's • Secteur public : Etat, Administrations, Santé, Départements, Régions
Datacenters des Hyperscalers (3)	National (4)	Services de Cloud Public et/ou Hybride		<ul style="list-style-type: none"> • Entreprises : TPE / PME / ETI / NM's & MNC's • Secteur public : Etat, Administrations, Santé, Départements, Régions
Datacenters de proximité (5)	Régional / local	Services de colocation, mais également de Cloud privé et/ou hybride, infogérance, ...		<ul style="list-style-type: none"> • Entreprises : TPE / PME / ETI dont ESN et opérateurs locaux • Secteur public : Départements, Régions, EPCI, structures de mutualisation

(1) Liste non exhaustive

(2) Les datacenters avec une vocation nationale (adressage du marché au niveau national depuis une ou plusieurs infrastructures) peuvent être neutres ou pas

(3) Selon les zones géographiques, les hyperscalers peuvent être propriétaires ou locataires des datacenters qui leur permettent d'offrir leurs services Cloud (ex : en France, Microsoft, AWS sont locataires des datacenters dans lesquels ils proposent leurs services)

(4) Les datacenters des hyperscalers sont souvent liés à une zone d'influence liée à un pays, mais ils peuvent irriguer plusieurs pays

(5) Les datacenters de proximité peuvent soit être réservé à un usage exclusif de l'acteur pour proposer ses services, soit à travers les services de colocation ils peuvent également adresser d'autres acteurs IT qui construisent leurs offres de services numériques Dans cette dernière condition, ils sont alors considérés comme neutres.

Source : IDATE

Source : IDATE

En plus des datacenters commerciaux, les utilisateurs finaux, entreprises et administrations, se sont souvent dotés de leurs propres solutions de stockage et de traitement de données.

5.4.2. Taille et géographie du marché

Entre 2014 et 2021, plus de 100 datacenters commerciaux ont été mis en service en France, dont les deux tiers (près de 80) sont des datacenters de proximité avec des surfaces IT opérationnelles entre 100 et au plus 500 m² IT, à l'exception de Marseille, Lille ou Nice. Par ailleurs, plus d'une vingtaine de projets sont en cours de déploiement ou à l'étude au niveau national (tous types confondus).

En 2021, environ un tiers des datacenters sont localisés en Ile de France, concentrant 60% de la surface et de la puissance utiles (environ 300 000 m² de surface IT, soit l'une des 5 plus grosses concentrations de datacenters en Europe).

Mais toutes les régions sont équipées d'au moins un datacenter de proximité et six d'entre elles en concentrent plus de 70% (hors Ile de France) : Auvergne-Rhône-Alpes, Occitanie, Hauts de France, Normandie, Nouvelle-Aquitaine et Grand-Est.

Des méga-infrastructures sont identifiées en Ile de France (Interxion / Digital Realty, extension de Data4, arrivée des GAFAM en propre...) mais également en province (Orange à Chartres et Val de Reuil ou Equinix à Bordeaux) pour accompagner la croissance du cloud en France (Datacenters hyperscale).

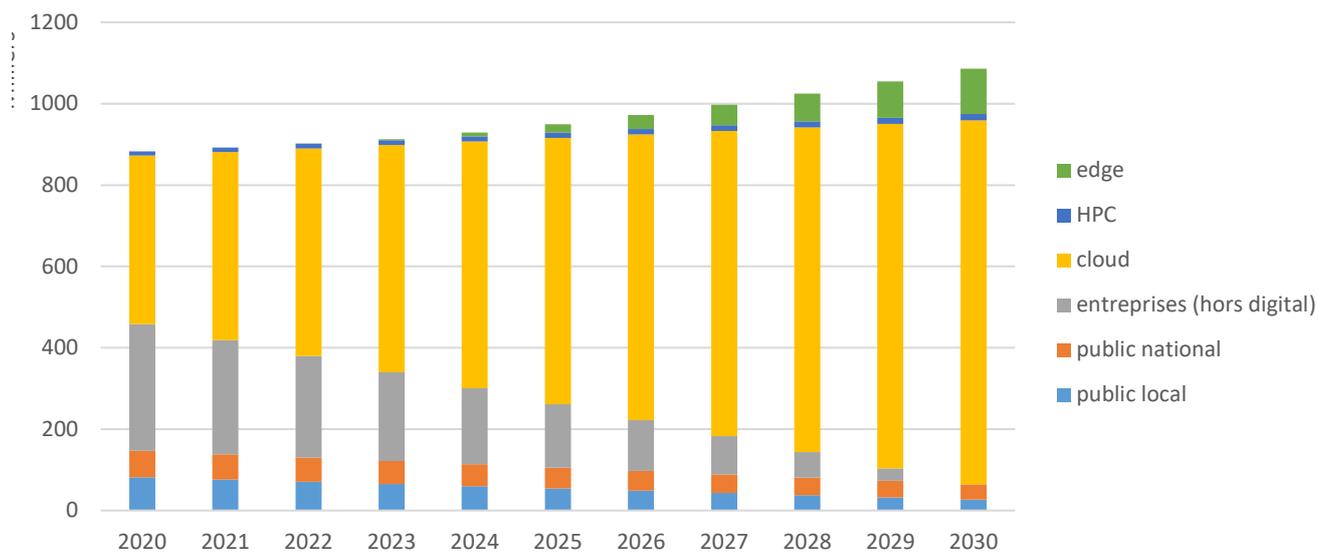
5.4.3. Perspectives de déploiements des datacenters

L'explosion du trafic de données crée une pression sur le marché des datacenters. Toutefois, les progrès en matière d'efficacité sont très rapides, liés tant au progrès technique (miniaturisation des équipements, multiplication des puissances de stockage et de traitement) qu'à l'évolution vers des solutions partagées, la croissance des surfaces de salles informatiques devrait rester contenue.

Nous anticipons sur le marché français un passage de 883 000 m² de surface totale pour les salles IT en 2020 à 1 086 000 m² en 2030, soit une progression de « seulement » 23% en dix ans. Mais la répartition par type de datacenters va être complètement bouleversée. D'une part, nous anticipons une accélération du transfert des solutions propriétaires vers des solutions partagées de type cloud : le mouvement devrait être radical pour les entreprises privées avec une disparation quasi-complète des capacités en propre pour des solutions externalisées à la fin de notre période de référence, il le sera moins pour les structures publiques qui, pour des raisons de confidentialité et de sécurité notamment, conserveraient pour partie des solutions internes. A l'intérieur de ce segment, les solutions proposées par les géants de l'Internet (AWS, Microsoft Azure...) occupent une très grande place.

D'autre part, le mouvement vers des solutions de proximité, déjà visible pour les datacenters propriétaires, trouve, ou va trouver, une nouvelle expression à travers les besoins en edge computing. Ceux-là sont en particulier liés au déploiement des réseaux 5G en mode stand alone (introduction notamment des fonctionnalités basées sur une très faible latence). Si les professionnels indiquent que ce mouvement est encore à peine perceptible, nous pensons que celui-ci se manifestera de manière progressive à partir de 2023, avec une accélération après 2025.

Au total donc, les surfaces IT des datacenters cloud pourraient plus que doubler entre 2020 et 2030, représentant plus de 80% de la capacité totale en volume à l'horizon 2030. Quant aux solutions de edge computing, les surfaces IT passeraient de 0 à plus de 110 000 m² en 2030, représentant alors plus de 10% des surfaces de stockage et de calcul.

Figure 57 : Surfaces IT des datacenters par catégorie (milliers de m²)

Source : IDATE, APL

5.5. Cybersécurité

La cybersécurité est une préoccupation majeure de tous les gestionnaires de réseaux numériques, publics et privés. La protection des systèmes est d'autant plus nécessaire que le nombre d'actes de malveillance croît de manière exponentielle, en lien avec le caractère lui aussi de plus en plus indispensable, voire stratégique dans certains cas, des échanges portés par ces réseaux. Il n'est pas anodin de constater que, lors de la dernière crise sanitaire, le nombre d'attaques a explosé alors même que le télétravail et le confinement augmentaient eux-mêmes considérablement les besoins et usages numériques : l'ANSSI (Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information) estime que le nombre d'attaques a plus que quadruplé depuis le début de la pandémie de Covid-19. Ces dernières ont mis en évidence la vulnérabilité des entreprises françaises, des collectivités territoriales, des administrations et des établissements publics face à ce phénomène de grande ampleur.

Le constat est évidemment partagé au niveau mondial où un tiers des failles informatiques connues a été enregistré au cours des trois dernières années (recensement jusqu'en 2020). La dynamique des activités cybercriminelles expliquent en partie les perspectives de croissance du secteur de la cybersécurité, qui devrait augmenter en moyenne de près de 10% par an d'ici à 2026, pour atteindre un chiffre d'affaires de 300 milliards d'euros.

Les secteurs économiques aujourd'hui les plus frappés par des cyberattaques sont ceux dont les données générées présentent le plus d'intérêt, comme les services financiers, le commerce de détail, les services de transport, les médias et les services B2B. Le secteur des services financiers est celui qui dépense le plus en cybersécurité.

Face à ces menaces, une réglementation se met en place et des plans d'investissement publics voient le jour.

En Europe, le Cybersecurity Act, adopté en 2019, définit un cadre de certification de cybersécurité harmonisé à l'échelle européenne. Il s'applique directement aux Etats membres, qui disposaient toutefois d'un délai de deux ans pour se mettre en conformité au regard de leur organisation nationale. Le règlement européen prévoit trois niveaux de certification :

- Niveau élémentaire : objets grand public, non critiques (IoT)
- Niveau substantiel : risque intermédiaire (Cloud)
- Niveau élevé : risque d'attaque sur des infrastructures critiques par des acteurs importants (santé, dispositifs médicaux)

En France plus particulièrement, une stratégie nationale pour la cybersécurité a été présentée début 2021. Elle vise, à l'horizon 2025, à faire émerger des champions français et à garantir la maîtrise des « technologies essentielles » pour la souveraineté et se décline à travers un plan d'actions doté d'un budget public d'un milliard d'euros, dont les lignes principales sont :

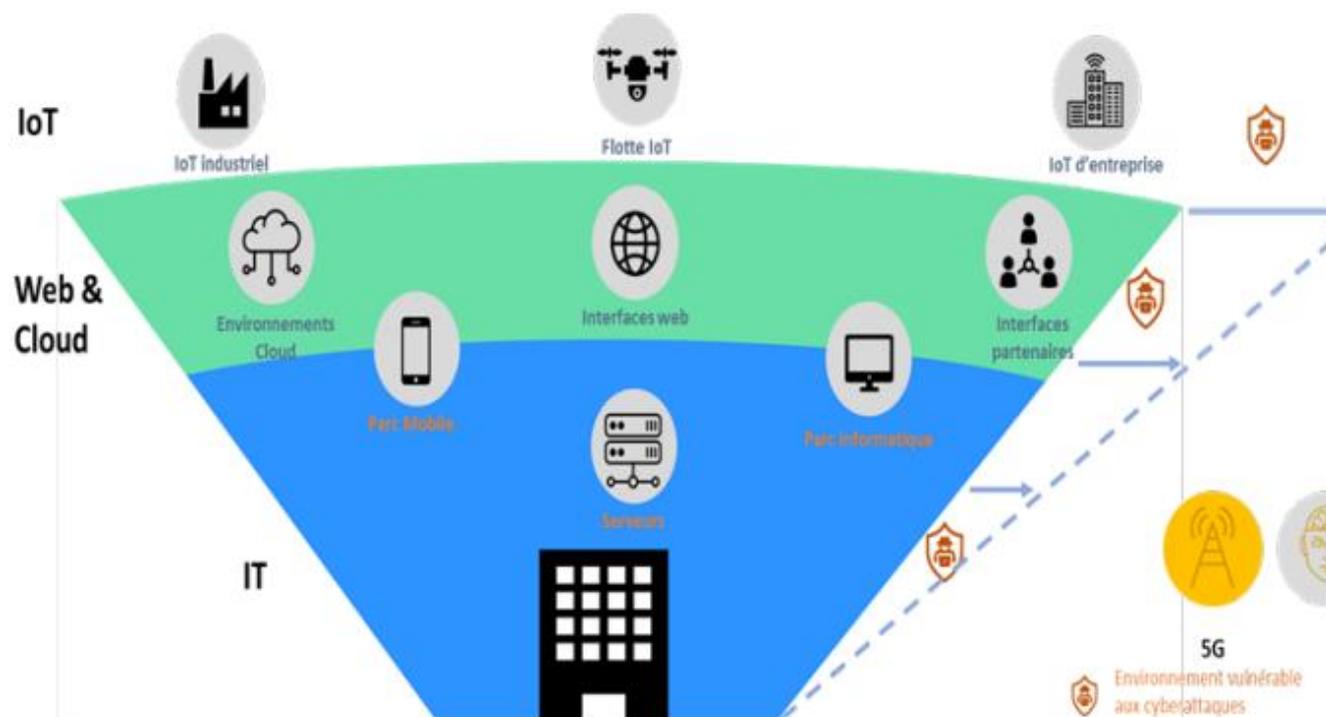
- Promouvoir des acteurs leaders souverains (290 m€ de fonds publics)
- Fédérer les acteurs dans le cyber campus de La Défense (74m€ de fonds publics)
- Augmenter le budget de l'ANSSI (136 m€ de budget supplémentaire)
- Doubler le nombre d'emplois via l'établissement d'un meilleur diagnostic formation.

En complément, un appel à projets a été lancé en 2021 visant à « garantir la continuité des activités essentielles des territoires » face aux cyber menaces (cyber résilience), en faisant ressortir notamment les besoins prioritaires pour les collectivités territoriales, les établissements de santé et les infrastructures portuaires.

Protection et résilience vis à vis des cyber-risques sont, plus largement, deux sujets dont se sont emparés la plupart des entreprises. Aujourd'hui, ces dernières utilisent très majoritairement des solutions de type cloud dont le caractère essentiel a été démontré durant la récente pandémie de Covid-

19, en facilitant le maintien de l'activité économique malgré un confinement strict. Si ces solutions permettent en partie de renforcer la cyber-résilience en dispersant le risque et du fait de leur intégration native des protocoles de cybersécurité, ce risque ne disparaît pas pour autant, et le manque de connaissance de ces nouveaux environnements impose aux entreprises d'être vigilantes. Par ailleurs, avec les immenses quantités de flux de données générées quotidiennement par le numérique, l'IA se présente comme un outil incontournable pour la cyberdéfense. Son adoption permet de répondre à des problématiques majeures, notamment la pénurie de ressources humaines spécialisées dans la sécurité des systèmes informatiques, ainsi que la surveillance continue des flux de données.

Figure 58 : Surface d'exposition des entreprises aux cyber-risques



Source : IDATE DigiWorld

Dans le cadre d'une commission de travail réunie par l'IDATE en 2021, différentes propositions ont été avancées pour renforcer la cyber-résilience, allant de la sensibilisation à un plan pour une souveraineté européenne, en passant par des actions de formation et de prévention.

Sur le volet formation, l'objectif est d'augmenter le nombre de programmes de formation (tant initiale que continue) autour de profils spécialisés embrassant toutes les thématiques de la cybersécurité pour anticiper la demande des cinq à dix ans à venir. Il s'agit avant tout de former des spécialistes de la cybersécurité mais aussi de promouvoir la démarche « cybersecurity by design » (évaluer et limiter les risques dès la conception d'un projet numérique) et de mettre en place des processus d'adaptation continue (amélioration permanente des procédures, application régulière des mises à jour de sécurité...)

Un volet autour de la création d'écosystèmes, nationaux et locaux est également promu. Il s'agit, dans ce cadre de favoriser des synergies entre acteurs de différentes tailles et différentes natures sur un même territoire et, partant, la visibilité de solutions locales et les coopérations : coopérations entre grands groupes et startups au niveau national, dynamiques et synergies au niveau des territoires, incluant les collectivités, développement de laboratoires communs public-privé, aide au développement d'innovations cyber adaptées aux petits acteurs, financement de startups et de PME spécialisées.

6. Annexes

6.1. Bibliographie

Rapport de la mission 5G industrielle, DGE, mars 2022

Plan de fermeture du réseau de boucle locale cuivre d'Orange, dossier de consultation, février 2022

Etude de marché sur les « Réseaux Mobiles Privatifs », réalisée pour Nokia, septembre 2021

La régulation au service des territoires connectés, rapport d'activité (tome 2) 2021 de l'ARCEP

De la Smart City à la réalité des territoires connectés, Dossiers de la DGE, octobre 2021

Mobility report, Ericsson, 2021

Mobile economy in Europe, GSMA, 2021

Baromètre du numérique, ARCEP et ANCT, 2021

Rapport pour un numérique soutenable, ARCEP, 2020

Realizing the potential of the Internet of Things with 5G, ADL, 2020

The race to 5G, ADL, 2019

Time to accelerate growth (how telcos can fuel growth via 5G and diversification), ADL, 2021

Synthèse des enjeux sectoriels culture, médias, communication, télécommunications, sports, loisirs, tourisme et divertissement, Afdas 2021

Pour un service universel qui porte son nom, sur tous les territoires, Assemblée Nationale, 2021

Contrat Stratégique de filière Infrastructures numériques 2019-2022, CNI, 2019

De la smart city à la réalité des territoires connectés (l'émergence d'un modèle français ?), Data Publica-KPMG, 2021

Observatoire de la filière 5G, DGE ADL, 2021

EDEC Fibre Optique, Ambroise Bouteille & Associés, 2020

French Telecoms Economics ADL, 2020

Etude économique (Les télécoms : premiers acteurs du numérique, FFTélécoms, 2020

Vision prospective partagée des emplois et des compétences dans la filière numérique, France Stratégie, 2020

Maitriser l'impact carbone de la 5G, Haut Conseil pour le Climat, 2020

Rapport de branche des télécommunications, Humapp, 2020

Observatoire du THD, Infranum, 2021

Loi n° 2021-1485 du 15 novembre 2021 visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France

L'évolution de l'environnement des métiers des télécommunications liée à l'intégration des technologies émergentes du numérique, ADL, 2019

Les métiers et compétences recherchés dans le cloud, le big data, la cybersécurité, APEC, 2018

Cartographie des métiers télécoms, Observatoire des Métiers des Télécoms, 2016

Compétences transversales fondamentales pour l'évolution du secteur des télécommunications et des nouveaux métiers émergents, Observatoire des Métiers des Télécoms, 2021

Hypothèses de transformation cloud et SDN/NFV dans le secteur des télécommunications, Observatoire des Métiers des Télécoms, 2017

Etude sur les métiers de la donnée, Observatoire des Métiers des Télécoms, 2015

Etude sur les métiers du projet, Sopra Consulting-Observatoire des Métiers des Télécoms, 2013

Etude prospective sur les activités critiques pour la branche métallurgie, OPCO 2i/Observatoire de la métallurgie, 2021

Les métiers de la fibre optique, Pôle Emploi

Rapports IDATE :

5G en Europe (Mythes et réalités), 2021

Les marchés de la 5G en Europe, évolution 2020-2026 (base de données, 2021

Les enjeux de la 5G (Que faut-il retenir ?), 2020

Quels sont les effets de la Covid-19 sur la 5G ?, 2020

The potential of 5G FWA (Can 5G FWA rival FTTH ?), 2020

Green 5G (Stratégies pour limiter la consommation énergétique de la 5G), 2020

5G & network sharing, 2020

Les impacts des nouvelles architectures de réseaux mobiles, 2020

Mobility of the Future (The driving forces that are shaping the mobility landscape), 2021

IoT et territoires (Quelles opportunités pour le déploiement de l'IoT public dans les territoires ?)

World IoT markets, évolution 2020-2030, 2021

IoT Platforms (Technology-centric offerings at the core of the Internet of Things), 2021

Smart Home (Towards an ecosystem-centric approach), 2021

Les marchés de la Smart City 2021 (Les dépenses Smart City des villes en Europe et en Afrique/Moyen Orient), 2021

e-Health (Trends, regulatory issues, players profiles and market sizing), 2020

Cybersécurité, cyber résilience, 2021

6.2. Liste des entretiens réalisés

- M. Christian COUZON, Directeur Infrastructures Télécoms, Axians (22 février)
- M. Viktor ARVIDSSON, Directeur de la Stratégie, Ericsson France (3 mars)
- M. Philippe RIFAUX, Délégué Général, FFIE (4 mars)
- M. Yann BERTRAND, International Business Development Manager, Axians (4 mars)
- M. Charles PRAUD, Directeur Innovation & Développement International, SopraSteria (7 mars)
- M. Laurent DEPOMMIER-COTTON, Directeur du Département Transition Numérique, CDC/Banque des Territoires (8 mars)
- M. Olivier COROLLEUR, Directeur Fibre, Infrastructures et Territoires, ARCEP (9 mars)
- M. Zacharia ALAHYANE, Président, ANCT (11 mars)
- M. Eric FOURNIER, Directeur de la Planification du Spectre et des Affaires Internationales, ANFR (16 mars)
- M. Patrick CHANCONIE, Directeur délégué adjoint INEO Infracom (16 mars)
- M. Rémy PRUNIAUX, Directeur des Programmes d'Innovation et du Futur du Travail, SNCF (22 mars)
- MM. Axel BARATTE, chef de projet télécoms et Lucas GRAVIT, rapporteur de la mission 5G industrielle, DGE (23 mars)
- M. Ariel TURPIN, Délégué Général, AVICCA (24 mars, avec la participation également avec M. Frédéric GERBELOT et M. Luc DERRIANO)
- M. Etienne DUGAS, Président, Giammatteo Réseaux (25 mars)
- MM. Hervé RASCLARD et Alexandre DURAND, Délégué Général et Délégué Général Adjoint, Infranum (31 mars)
- M. Jacques BEAUVOIS, DG Adjoint, Axione (1^{er} avril)
- Mme Géraldine CAMARA, Déléguée générale, France Datacenter (12 avril)
- M. Pierre-François GRIFFITHS et Mme Charlotte MONTESINOS-CHEVALLEY, Direction du Pilotage des Infrastructures Cuivre, Orange France (3 juin)
- M. Nicolas AUBE, PDG, Céleste (7 juin)
- M. Damien JAHAN, Directeur Développement Réseaux, SFR (5 juillet)

6.3. Guide d'entretien

1. Contexte de l'entretien

Afin d'anticiper les évolutions de la filière des infrastructures numériques et les besoins d'emplois et compétences de demain qui en découleront, trois OPCO (opérateurs de compétences) au service des branches professionnelles de la métallurgie, des télécommunications, du bâtiment et des travaux publics, viennent de lancer une étude à l'horizon 2030.

Dans ce cadre, l'IDATE a en charge la prospective des marchés, en France prioritairement et dans des pays offrant un potentiel à l'export pour les industriels et prestataires nationaux (essentiellement Europe et Afrique).

Dans une première étape, nous cherchons à repérer les facteurs (politiques, réglementaires, techniques, économiques, demande et usages) conditionnant l'évolution des marchés des infrastructures numériques. Sur chaque axe, nous tenterons de préciser les évolutions tendancielle mais aussi les possibles éléments de rupture, voire les signaux faibles susceptibles de déformer les marchés à terme.

Cet entretien est destiné à alimenter cette liste d'inducteurs et évaluer les options possibles.

2. Questions

2.1. Evolutions tendancielle

Quels sont, selon vous, les échéances et les enjeux des grands chantiers en cours en matière de déploiement d'infrastructures numériques ?

- Poursuite et finalisation du plan France THD ?
- Complétude de la couverture en 4G ?
- Décommissionnement du cuivre ?
- Autres chantiers en cours ? Préciser

Quelles vont être, selon vous, les principaux nouveaux chantiers en matière de déploiement d'infrastructures numériques en France dans les 5 à 10 prochaines années ?

- Déploiements 5G et dossiers connexes (FWA...) ?
- Décommissionnement 2G/3G ?
- Déploiements réseaux IoT ?
- Déploiements réseaux smart cities ?
- Autres déploiements ? Préciser

Quelle devrai(en)t être la ou les priorités ? Quels liens entre les différents chantiers éventuellement ?

Ces déploiements, et notamment ceux que vous avez défini comme prioritaires, vous semblent-ils être guidés plutôt par une logique de demande ou d'offre ?

Quels nouveaux acteurs interviennent dans les déploiements au gré de l'arrivée de ces nouvelles technologies ? (e.g. groupes industriels pour le déploiement de réseaux privés, SSII pour la sécurité des réseaux...)

Quels sont les facteurs de succès ou les freins qui peuvent impacter le rythme et les modalités de ces déploiements ?

- Sur le plan politique et réglementaire ?
- Sur le plan technique ?
- Sur le plan économique ?
- Sur le plan de la demande et des usages ?
- Autres dimensions ? Préciser.

Dans quelle mesure la crise Covid et les changements d'habitudes qui en ont découlé (recours plus systématique au télétravail, réunions et accès accru aux contenus à distance, téléconsultations...) vous paraissent-ils avoir intensifié le recours aux infrastructures numériques ? Est-ce que cela a fait naître des comportements nouveaux vis-à-vis de ces outils (e.g. accès multimodaux, fonctionnalités avancées...) ou essentiellement augmenté les besoins en capacités ?

2.2. Facteurs de rupture

2.2.1. Contexte politique et réglementaire

Quelles sont les initiatives que pourraient prendre les pouvoirs publics pour organiser ou accélérer le déploiement des infrastructures numériques en France (à l'instar du Plan France Très Haut Débit lancé au début des années 2010 pour promouvoir la fibre) :

- dans le domaine de la 5G ?
- dans le domaine de l'IoT ?
- dans le domaine des territoires connectés ?
- dans le domaine de la cybersécurité ?
- dans tout autre domaine qui vous semblerait impactant pour les infrastructures numériques ?
Le ou lesquels ?

Pour les initiatives identifiées, quels pourraient être les effets à court et moyen terme ?

2.2.2. Contexte technique

Quels sont les progrès techniques que l'on peut attendre dans chacun des domaines précités à l'horizon des 5 à 10 prochaines années ? (ex. transition vers une 5G+, voire une 6G)

Qu'est-ce que ces progrès techniques pourraient apporter :

- en termes de performances ? (e.g. débit amélioré)
- en termes d'usages ? (e.g. nouvelles fonctionnalités)
- en termes de cibles ? (e.g. prix plus abordables)

2.2.3. Contexte économique, environnemental et sociétal

Quels sont les « boosteurs » qui pourraient modifier en profondeur la dynamique d'investissement dans les infrastructures numériques ? Permettre aux acteurs, publics ou privés, de disposer de financements beaucoup plus substantiels que ceux dégagés aujourd'hui ? Ou de mieux les rationaliser (e.g. co-investissement ou regroupements) ?

A l'inverse, y a-t-il des facteurs qui pourraient freiner brutalement l'investissement (e.g. risques avérés sur la santé, risques en matière de sécurité et de protection des personnes...) ?

2.2.4. Demande et usages

De la même façon que le crise Covid a bousculé la demande et les usages numériques, y a-t-il d'autres évènements qui pourraient infléchir brusquement, dans un sens ou dans l'autre, la consommation de services ? Avec quel impact potentiel sur les infrastructures ?

2.3. Signaux faibles

A tous les niveaux évoqués précédemment, quels sont les signaux faibles/éléments précurseurs qui vous semblent susceptibles d'influencer les marchés numériques et spécifiquement l'orientation des déploiements d'infrastructures numériques ?

2.4. Contact réseau - question optionnelle

Afin de traiter ces sujets sous un angle RH, auriez-vous des coordonnées de personne(s) à me transmettre , à l'intention du cabinet Katalyse ?

6.4. Méthode de travail pour établir les prévisions

L'analyse documentaire et les entretiens nous ont dans un premier temps permis de retenir les options majeures pour les déploiements d'infrastructures numériques à l'horizon 2030, chantier par chantier.

Ces options ont été présentées et discutées lors de réunions en comité technique et en comité de pilotage. Nous en reproduisons ci-après les lignes.

En amont des éléments sectoriels, des réflexions portant plus largement sur l'évolution démographique et économique ont été également introduites. Il a toutefois été proposé ici par le Consultant de ne pas introduire d'éléments de rupture, hormis celle qui s'est déjà manifestée à l'occasion de la crise Covid, provoquant une accélération soudaine des usages numériques, à travers le développement du télétravail et la montée en charge de nombre d'activités à distance (téléconsultations...)¹⁰

Concernant les différents chantiers de déploiement identifiés, les échanges ont pour l'essentiel dégagé des consensus autour des évolutions tendanciennes à court terme et des objectifs de moyen-long terme tels que fixés par les pouvoirs publics le cas échéant.

Ainsi :

- le déploiement de la fibre, déjà bien avancé, est envisagé dans la perspective d'une couverture quasi-complète à l'horizon 2030, avec une poursuite à rythme élevé dans les deux-trois prochaines années (objectif intermédiaire de couverture à 98% en 2025) ; en parallèle, le recrutement d'abonnés continue de s'accroître, le parc total en 2030 pouvant atteindre 38,2 millions (prévision basée sur le parc actuel de 37,2 millions de lignes fixes actives) ;
- la poursuite du déploiement de sites mobiles 4G a été évaluée à la fois au regard des engagements au titre du New Deal Mobile (en particulier au titre de la couverture ciblée) et du tendanciel pour la complétude des réseaux par les opérateurs ;
- les déploiements de sites-opérateurs 5G sont de leur côté appuyés à la fois sur les obligations des licences (du moins celles connues aujourd'hui au titre de l'exploitation des fréquences 3,5 GHz) et sur le constat de l'avance d'ores et déjà pointée à la première échéance (2022). Pour les fréquences 26 GHz, non encore attribuées hors expérimentations au titre de la 5G industrielle, nous avons retenu l'hypothèse d'un déploiement dans les zones très denses et lieux d'intérêt ;
- les déploiements au titre des réseaux privés 5G industrielle sont basés sur la cible des établissements de 500 personnes et plus, ce qui reste bien sûr un schéma théorique compte tenu de la diversité des situations. Par ailleurs, les projets 5G industrielle ne se restreignent pas à la construction et à l'exploitation de réseaux privés mais, pour les petites structures en particulier, s'appuieront plus vraisemblablement sur les offres de réseaux dédiés des opérateurs mobiles ;
- les projections concernant les objets connectés sont quant à elles tirées de l'observatoire que l'IDATE produit depuis de nombreuses années et qui, dans sa dernière édition, fournit des prévisions année par année à l'horizon 2030 ;
- la valorisation et les perspectives des marchés liés aux territoires connectés sont basées sur un travail mené par l'IDATE pour Infranum au premier semestre 2022, visant précisément à estimer le nombre de collectivités avec des projets de territoires connectés, le type de projets et, in fine, le marché total (pour les années 2022 et 2025) ;
- enfin, les valeurs et projections concernant les surfaces de datacenters sont calées sur les estimations que l'IDATE et APL DATA CENTER ont réalisées dans le cadre de l'étude ADEME/ARCEP sur l'impact environnemental du numérique en France (valeurs 2020 et 2030).

Ainsi qu'indiqué, au-delà des indications et informations recueillies lors de nos entretiens et des échanges avec ces membres du comité technique et du comité de pilotage, nous nous sommes appuyés sur plusieurs travaux réalisés au cours de la période récente, notamment :

- l'observatoire du Très Haut Débit (10^{ème} édition) publié par Infranum le 1^{er} juin 2022 (y compris, au-delà de l'aspect FTTH, pour les parties territoires connectés et datacenters),
- « Déploiement de la 5G en France : Quel impact sur la consommation d'énergie et l'empreinte carbone ? », étude réalisée par Citizing pour le compte du Haut Conseil pour le Climat, décembre 2020,
- l'observatoire de la 5G en France, édition 2021, étude réalisée par Arthur D. Little pour le compte de la DGE et la FFT, l'AFNUM, InfraNum et le SYCABEL, novembre 2021,
- étude de marché sur les « réseaux mobiles privatifs » en France, réalisée pour le compte de Nokia en

¹⁰ Voir notamment la dernière édition du « Baromètre du Numérique »

septembre 2021,

- « Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective », étude réalisée par Bureau Veritas, APL Datacenter, Deloitte, DDemain, GreenIT.fr et l'IDATE pour l'ADEME et l'ARCEP, en cours de publication.

Nous avons plus largement utilisé, sur un plan plus qualitatif, les différents rapports et études indiqués dans la liste bibliographique présentée en annexe 4.1.

Enfin, les hypothèses retenues sont explicitées et détaillées directement dans les différents chapitres relatifs aux chantiers couverts.