



BANQUE des
TERRITOIRES



LES RESEAUX IOT EN ZONE PEU DENSE

Etat des lieux du marché de l'IoT
en France avec un focus sur les
zones peu denses

Introduction

Les réseaux IoT, nouvelle révolution industrielle ?

Le terme IoT (Internet Of Things – Internet des objets en français) est certes récent, mais se réfère à un usage ancien, dénommé Machine to Machine : le Machine to Machine (M2M) désigne un ensemble de technologies de réseaux filaires ou non filaires permettant l'échange automatique d'informations entre systèmes sans intervention humaine.

Les dernières années ont vu ce **marché de l'IoT se développer de manière très importante** dans le monde et en France, et **cette évolution rapide est accompagnée d'un foisonnement d'acteurs et de technologies rendant complexe l'appropriation de l'IoT** :

- La **chaîne de valeur** est morcelée et un nombre conséquent d'acteurs sont d'ores et déjà présents (on dénombre plus de 400 acteurs qui coexistent sur le marché français)
- **Les technologies liées à l'IoT sont nombreuses** (2G, 3G, 4G, 5G, NB-IoT, LTE-M, LoRa, SigFox, Wifi, satellite, etc.) et il n'est pas toujours évident de bien comprendre quels sont les avantages et les inconvénients de chaque technologie en fonction des cas d'usage souhaités

- De **nombreux projets IoT sont restés au stade de l'expérimentation** avec un retour d'expérience parfois décevant

Malgré cela, **l'IoT est souvent présenté comme la nouvelle révolution industrielle**, celle permettant de rendre l'ensemble de notre environnement « intelligent ». La frontière entre les possibilités réelles de l'IoT et les arguments marketing est souvent complexe à appréhender et il est parfois difficile de **se forger une conviction claire sur l'IoT**.

Un risque de fracture entre les territoires urbains et les zones peu dense ?

Depuis une vingtaine d'années, en parallèle des réseaux filaires Haut Débit et Très Haut Débit, le secteur des télécoms a développé une couverture radio territoriale française du Haut Débit axée principalement à destination des téléphones / smartphones. **La 4G, aujourd'hui le réseau standard** dans les grandes villes offre un débit pouvant atteindre les **100 Mbit/s**. Des initiatives concernant la couverture en zone moins dense ont aussi été lancées (comme le « New Deal Mobile ») pour assurer **une équité de l'accès à de la connectivité entre les territoires Français**. A partir de 2020, les **réseaux 5G** voient très progressivement le jour et permettront à terme d'obtenir des débits de l'ordre 1 Gbit/s.

En complément de ces réseaux radio « Haut Débit », **des technologies dites à « Bas Débit »** se sont développées depuis une dizaine d'années, visant à pallier certains défauts du réseau Haut Débit sur d'autres segments de marché. Ces technologies « Bas Débit » offrent une plus longue portée et nécessitent moins de relais que le réseau Haut Débit. De plus, elles s'appuient sur des protocoles d'échange plus rudimentaires et limités dans le temps, visant notamment à minimiser la consommation électrique des terminaux.

Ces réseaux permettent ainsi la transmission quotidienne d'un nombre limité de paquets de données, à un faible coût. Ils répondent de cette manière à **une part conséquente des besoins de l'IoT, longtemps négligée par les acteurs du secteur**

des télécoms. Les besoins relatifs aux hauts débits sont, quant à eux, adressés par les offres 4G et 5G, proposés par les opérateurs de téléphonie mobile.

Comme indiqué précédemment, les usages de l'loT sont en plein essor. Selon une étude de la GSMA (association des opérateurs de télécommunication) le nombre de connexions loT devrait tripler pour approcher les 25 milliards en 2025 au niveau mondial. De nombreux usages sont facilement identifiables dans ces zones :

- L'agriculture intelligente, qui permet par exemple le suivi des crues et de contrôler l'arrosage.
- L'optimisation des parcours de propreté en mettant des capteurs dans les points de recyclage à vider, au niveau des relevés des poubelles...
- Suivi de l'état des réseaux électriques, des routes, qui permettrait l'anticipation des interventions à mener, et le suivi de dégradation de ces réseaux
- Etc.

Les zones moyennement / peu denses sont l'objet des programmes « zones blanches » et du « New deal mobile » pour la couverture en téléphonie mobile. De la même manière, il **pourrait exister un risque de fracture pour l'loT entre les territoires urbains et le reste du territoire.**

Pourquoi ce livre blanc sur les réseaux loT en zone peu dense ?

Ce livre blanc vise à :

- Fournir un **état des lieux** didactique des **cas d'usage** et des **technologies de l'loT** en France et notamment en zone peu dense
- **Sensibiliser** aux questions posées par l'loT aujourd'hui
- Fournir aux acteurs publics comme privés **des éléments** à intégrer dans leur **réflexion autour de leurs projets loT**

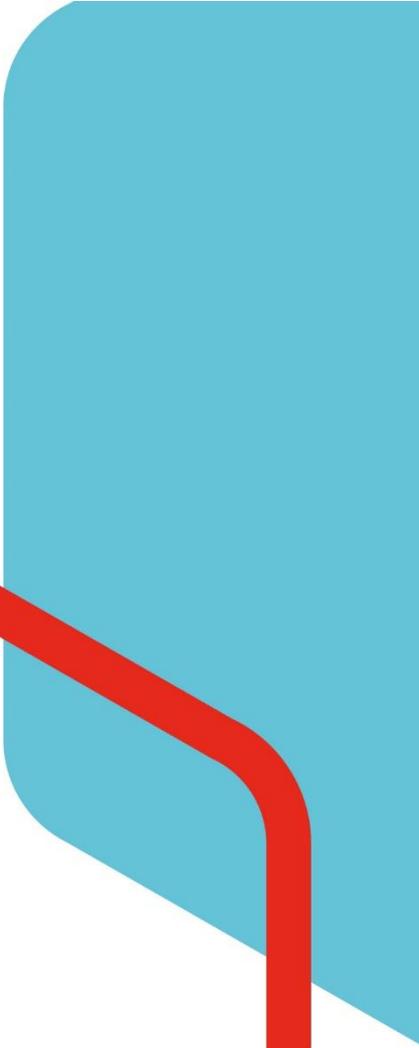
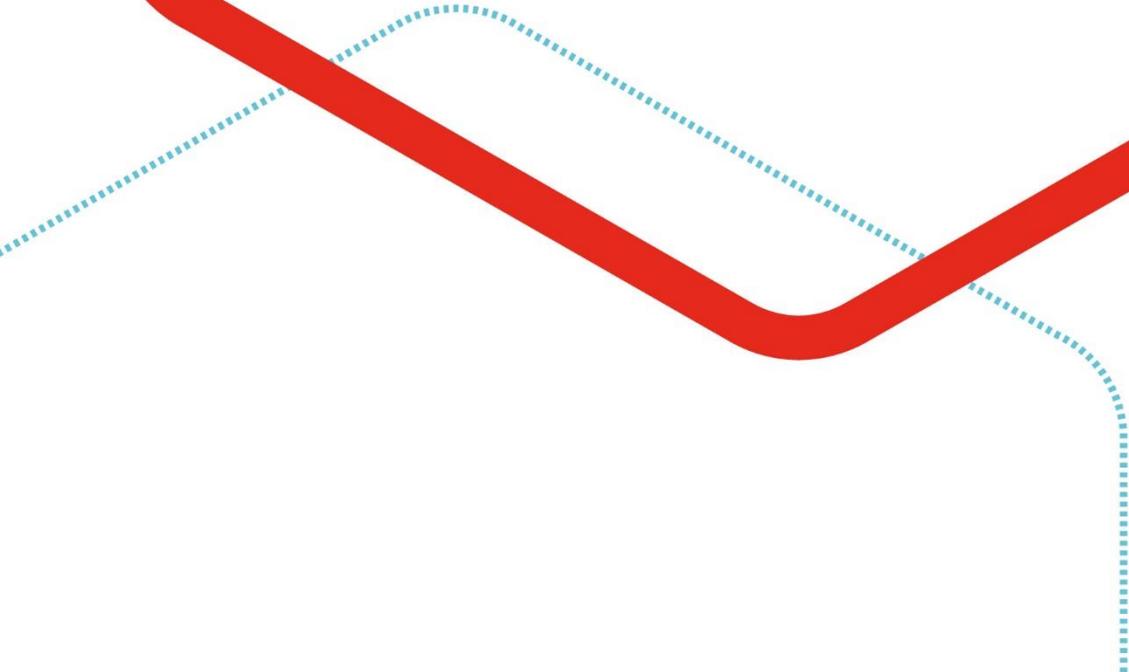
Ainsi, dans la première partie est présenté **un état des lieux du marché de l'loT** dans le monde, avec ses perspectives. Une deuxième partie présente **les acteurs de l'loT** en France et leur positionnement sur la chaîne de valeur. Dans la troisième partie, sont

exposées **les solutions techniques** permettant de fournir des services de connectivité IoT. Une quatrième partie présente **un panorama des usages** actuels de l'IoT. Enfin, la dernière partie aborde **les freins au développement du marché** en France et fournis des **recommandations à destination des porteurs de projets** IoT, publics ou privés, permettant d'accompagner cette nouvelle révolution industrielle

Sommaire

Chapitre 1 : Le marché de l'loT	8
Evolution du marché mondial : une accélération maintenant amorcée de l'adoption à la propagation	9
Le cas du marché Français	10
La chaîne de valeur de l'loT : une chaîne de valeur segmentée en six grands maillons	11
Le marché de demain : Vers une migration de la valeur du hardware vers le software	16
Chapitre 2 : Les acteurs de l'loT en France	20
Plus de 400 acteurs coexistent sur le marché Français	21
Chaque famille d'acteurs se positionne différemment sur la chaîne de valeur	30
Chapitre 3 : Les technologies de communication de l'loT	31
Panorama technologique	32
Etude de cas sur le département de la Loire	52

Chapitre 4 : Panorama des usages de l’IoT	62
L’IoT en verticale	63
Gestion des villes	64
Industrie 4.0	65
Agriculture et environnement	66
Automobile	67
Santé	68
Bâtiments recevant du public	70
IoT pour particuliers	72
Retail	74
Transport, flotte et logistique	76
Sites sensibles et sécurité de l’Etat	78
Chapitre 5 : Freins au développement du marché et recommandations	79
Malgré une offre abondante, la demande reste aujourd’hui relativement faible	80
Recommandations	83
Conclusion	84
Lexique	86

A large red hexagonal frame with rounded corners, centered on the page. It contains the chapter title.A teal-colored decorative shape in the top right corner, consisting of a rounded rectangle with a pointed bottom edge.A teal-colored dotted line that starts from the left edge, curves upwards, then downwards, and finally turns right at the bottom edge.

Chapitre 1 : Le marché de l'loT

Evolution du marché mondial : une accélération maintenant amorcée de l'adoption à la propagation

Entre 2018 et 2019, 2,5 milliards d'objets connectés ont été vendus dans le monde. Une hausse conséquente de 26% qui porte le marché à environ 9,5 milliards d'unités à fin 2019¹. Si les objets connectés sont majoritairement destinés à un usage grand public (~63% du marché total en volume), c'est le segment B2B qui crée la valeur. Les entreprises auraient investi plus de 570 milliards d'euros dans les projets IoT en 2019 (soit 85% des dépenses mondiales, chiffrées à 670 milliards d'euros²).

Figure 1 : Investissement IoT dans le monde en 2019 (Source IDC)



D'un point de vue géographique, les Etats-Unis et la Chine (cf. encart page suivante) pèsent à eux seuls pour plus de 50% du marché mondial avec respectivement 173 milliards et 162 milliards d'euros de dépenses IoT à fin 2019 selon IDC. Les deux plus grandes puissances manufacturières mondiales ont en effet compris que leur leadership serait très dépendant de leur capacité à intégrer l'IoT au cœur de leur économie.

Toujours en Asie, c'est sans surprise le Japon (9%) et la Corée du Sud (3%) qui se positionnent derrière le géant chinois. De son côté, l'Europe occidentale occupe la troisième place du podium avec en tête l'Allemagne (5%), le Royaume-Uni (3%) et la France (3%). Avec 23 milliards d'euros de dépenses estimées en 2019, la France dispose d'atouts non négligeables sur l'ensemble des composantes de la chaîne de valeur (cf. Chapitre 2 – Les acteurs de l'IoT en France).

¹ Source : IoT Analytics, IDC, PMP

² Source : IoT Analytics, IDC, PMP

Alors que seulement 14% des entreprises dans le monde faisaient appel à l'IoT en 2014, elles étaient déjà environ une sur quatre³ en 2019.

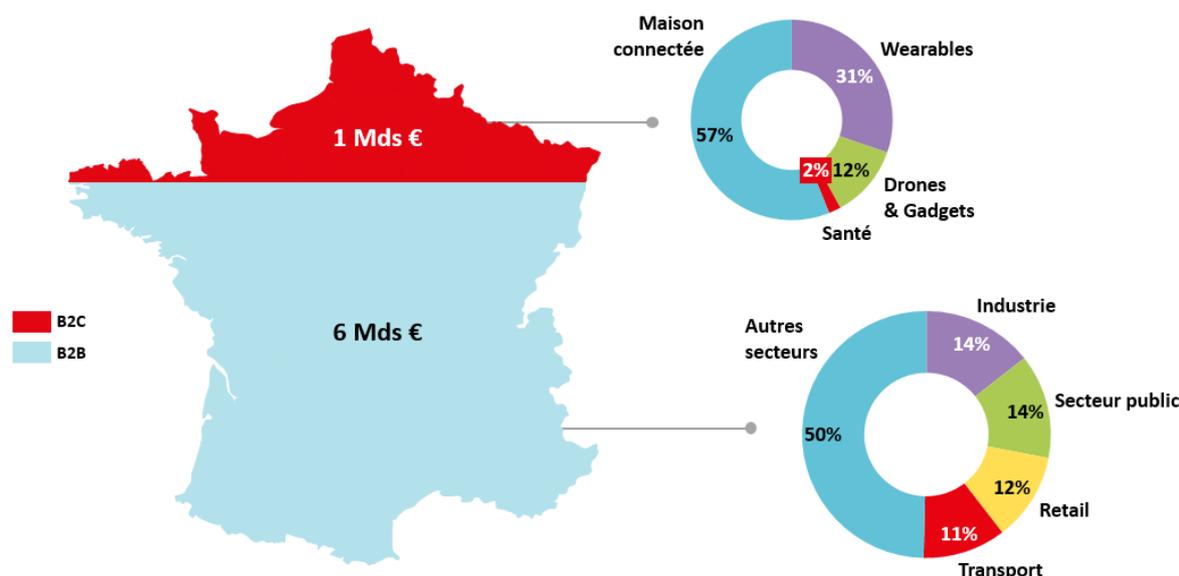
Focus sur la Chine

De nombreux champions du numérique ont récemment émergé en Chine. Pour ne citer que quelques exemples, les BAT (Baidu, Alibaba, Tencent) ont investi massivement dans le « cloud computing », Xiaomi dans les « wearables » et les « smartphones », Ayla dans l'énergie ou encore Landing dans la maison intelligente. En 2013, Pékin lance le programme stratégique Belt & Road dont l'un des principaux objectifs était d'asseoir la puissance industrielle du pays. En 2017, un partenariat entre China Télécom et Ericsson donne naissance à une plateforme qui rassemble l'ensemble des acteurs chinois de l'IoT (opérateurs, fabricant, intégrateurs...). Les grandes entreprises du pays ont donc très rapidement pu bénéficier de cette plateforme, véritable accélérateur du déploiement de l'IoT dans le pays.

Le cas du marché Français

Le marché français de l'IoT est estimé entre 7 Mds € et 10 Mds € en 2019⁴

Figure 2 : Estimation du marché Français de l'IoT



³ Source : McKinsey, PMP

⁴ Source : PMP

La chaîne de valeur de l'loT : une chaîne de valeur segmentée en six grands maillons

Que ce soit en B2B ou B2C, pouvoir proposer une solution IoT à l'utilisateur final implique l'articulation de toute une chaîne de valeur portée par un nombre d'acteurs important plus ou moins spécialisés.

Si l'on observe la chaîne de valeur de l'loT dans son ensemble, deux segments se distinguent : d'un côté les briques « composants », « assemblage », « connectivité et infrastructures » avec un business model orienté hardware et de l'autre, les briques « agrégation et cloud », « traitement de l'information » et « services » qui sont plutôt orientées du software :

Figure 3 : Chaîne de valeur de l'loT



Chaque maillon possède ses caractéristiques propres :

1 Composants : C'est la brique initiale de l'loT ! Derrière les composants se cachent toutes ces pièces techniques essentielles à la conception des objets connectés (capteurs, batteries, processeurs, antennes) et des équipements réseaux comme les Gateway ou les routeurs. Les équipes recherche & développement des fabricants cherchent constamment à repousser leur performance et leur qualité (efficacité énergétique, capacité de traitement...).

La filière économique des composants représente un marché de masse sur lequel la différenciation se fait principalement par le prix. Ces dernières années, les coûts de production des pièces détachées ont fortement baissé notamment grâce à la modernisation des centres de production et à une demande globale en hausse.

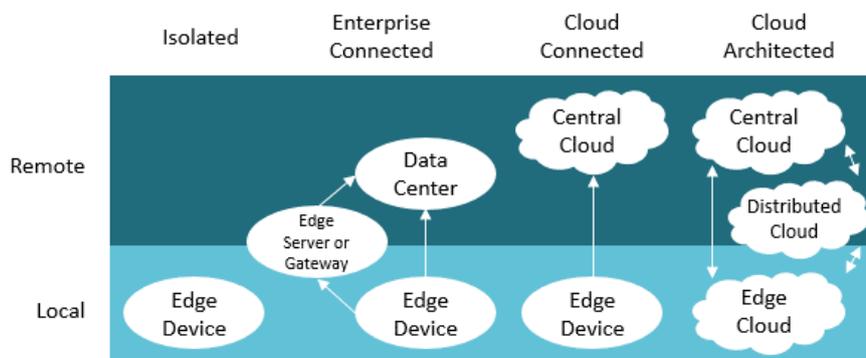
2 Assemblage : Vient ensuite la phase « d'assemblage ». Elle concerne tous les acteurs qui assemblent les différents composants pour concevoir les différents capteurs de mesure (thermique, pression, proximité, chimique, humidité, accéléromètre, olfactifs), les objets connectés (enceintes connectés, wearables, drones...), les équipements IoT (Gateway, routeurs...) et les objets industriels (machines & outils).

3 Infrastructure et connectivité : Le chaînon « infrastructure et connectivité » est assez large. Les typologies d'infrastructures et de connectivités vont dépendre des caractéristiques de la zone à couvrir. Transmettre des données sur de longues distances nécessitera des infrastructures réseau longue portée (points hauts, antennes longue portée...). Si au contraire le besoin est d'intégrer et d'opérer un réseau très local, comme un site industriel par exemple, les équipements seront différents (routeurs, relais, antennes courte portée...). Les architectures réseaux sont également conditionnées à la technologie retenue pour le projet IoT (LPWAN, cellulaire, satellite, etc. – Cf chapitre 4).

4 Agrégation & Cloud : Avant de pouvoir être analysées, les données brutes doivent être centralisées. Le chaînon « agrégation, stockage & cloud » concentre toutes les activités de collecte, de classement, de contextualisation et de sauvegarde des données. Les opérateurs et les gestionnaires d'infrastructures spécialisés proposent différents types de solutions. D'un côté, le « cloud computing » : une solution de transfert **par internet** des données générées par les appareils connectés IoT qui implique un hébergement le plus souvent externalisé (data center AWS, Google Cloud...). De l'autre, « l'edge computing » : un transfert et traitement des données directement depuis l'objet connecté ou en périphérie proche de celui-ci. Cette dernière solution est moins onéreuse et réduit drastiquement les temps de latence permis par la proximité de l'outil de stockage. Sur la sécurité, le débat reste ouvert. Avec des données qui n'ont pas à transiter sur le « réseau public » pour atteindre les data centers, l'edge computing promet une exposition au risque structurellement moins élevé. En revanche, les infrastructures des opérateurs Cloud sont équipées de systèmes de sécurité derniers cri alors qu'un appareil connecté en périphérie du réseau d'une PME pourrait être plus vulnérable.

Si l'edge computing commence déjà à s'imposer chez de nombreux industriels, il pourrait prendre son essor avec le déploiement de la 5G. Les opérateurs télécom réfléchiront actuellement à installer des « micros data center » sur leurs réseaux (antennes, gateway...) afin de pouvoir proposer l'edge computing à leurs clients. Enfin, sont proposées des solutions hybrides edge / cloud qui tirent le meilleur parti des deux technologies en fonction de l'usage.

Figure 4 : Cloud et Edge Computing sont des concepts complémentaires⁵



⁵ Source : Gartner

5 Le traitement de l'information : Au cœur du « Traitement de l'information », la plateforme IoT ! Elle est l'outil qui permet de piloter les différentes remontées d'informations (en temps réel ou en différé) pour ensuite faire le lien avec le reste du système IoT (équipement réseau, gateway, objet connecté, machines, serveurs, logiciels, applications...).

Une plateforme IoT englobe 8 grandes composantes :

Normalisation des données : L'objectif est de rendre inter-compatibles des données et des protocoles aux formats hétéroclites pour obtenir une base homogène et exploitable par toutes les autres composantes de la plateforme.

Device management : Cette fonction de la plateforme IoT se charge de l'authentification, du paramétrage, de la surveillance et de la maintenance du dispositif IoT. Il s'agit de garantir le bon fonctionnement des objets connectés et de s'assurer que la partie software soit continuellement à jour et fonctionnelle.

Base de données : La plateforme doit avoir un accès direct aux espaces de stockages décrits dans le chaînon précédent « agrégation, stockage et cloud ».

Gestion des actions et processus : Définition d'un ensemble de règles qui permettent d'automatiquement déclencher des scénarii prédéfinis. Il s'agit d'automatisations de tâches relativement simples qui répondent à la règle IFTTT « IF This Then That » (si ceci alors cela). Pour exemple, Si les capteurs ne captent plus de mouvements dans une pièce alors éteindre la lumière.

Analyse : La plupart des cas d'usages demandent d'aller bien au-delà d'une simple programmation d'actions prédéfinies. Pour extraire un maximum de valeur ajoutée des données, la plateforme doit supporter l'application d'analyses complexes comme le deep learning⁶ et permettre ainsi l'analyse prédictive.

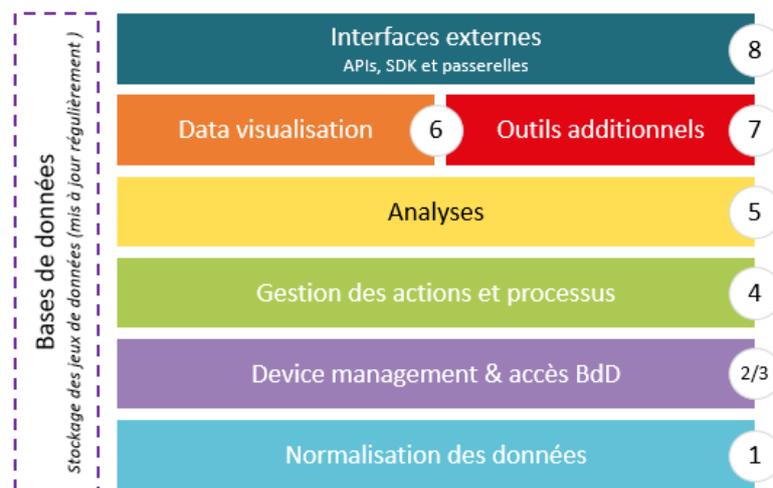
Data visualisation : Cette fonction de la plateforme doit favoriser l'interaction entre l'humain et les volumes de data complexes. On parle alors d'Interface Homme-Machine (IHM).

Outils additionnels : Des outils complémentaires destinés aux développeurs permettent de prototyper, tester et éventuellement activer de nouveaux usages de la plateforme. Des outils additionnels peuvent également être mis à disposition du management pour faciliter la gestion quotidienne de la plateforme (droits d'accès, extractions automatisées de données en format csv ou json par exemple).

Interfaces externes : Outils qui permettent d'intégrer tout type de solutions tiers (CRM, ERP...) tels que des Application Programming Interfaces (API), des Software Development Kit (SDK) ou gateways

⁶ Le deep learning ou apprentissage profond est un type d'intelligence artificielle dérivé du machine learning (apprentissage automatique) où la machine est capable d'apprendre par elle-même, contrairement à la programmation où elle se contente d'exécuter à la lettre des règles prédéterminées

Figure 5 : Description des composants d'une plateforme IoT



Deux options s'offrent à toute entité qui souhaiterait déployer une plateforme IoT. Elle peut soit choisir de construire sa propre solution (plateforme open-source) ou bien passer par un prestataire externe (plateforme propriétaire). La grande majorité des entreprises optent pour une solution de type propriétaire (Platform as a Service) le plus souvent en contrepartie d'un abonnement. Le modèle Open Source est souvent écarté pour des raisons de coût de développement, de manque de compétence en interne ou bien encore de durée de conception. Une plateforme Open source requiert en moyenne 2 ans et demi avant d'être entièrement intégrée contre 1 an et demi pour un modèle propriétaire.

Enfin, les collectivités et les entreprises doivent être particulièrement vigilantes dans leurs processus de sélection d'une plateforme IoT. De nombreux acteurs s'autoproclament fournisseurs de plateforme IoT alors qu'en réalité ils ne proposent qu'une partie des 8 composants de la plateforme.

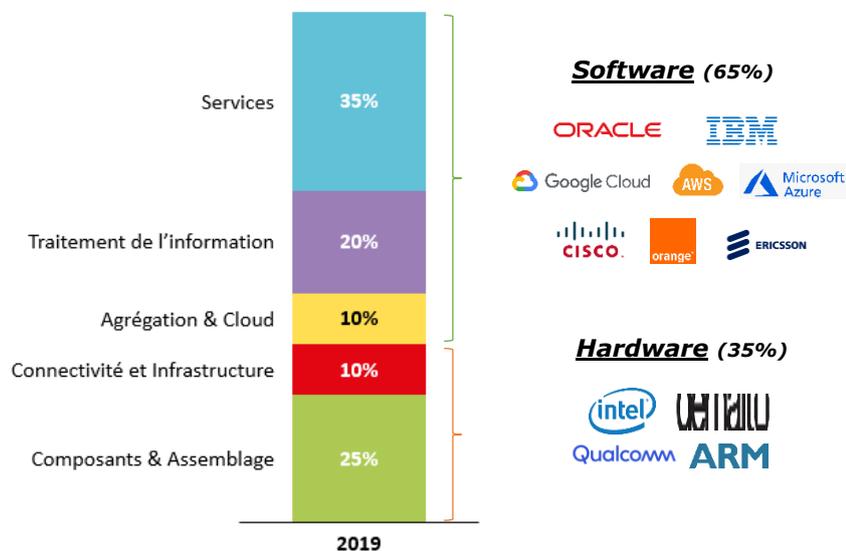
6 Les services : L'IoT crée des opportunités de « services » dans tous les secteurs. Cette brique finale de la chaîne de valeur rassemble l'ensemble des services **IT, d'automatisation** ou **de services à destination de personne** proposés au consommateur final (entreprises, collectivités ou particuliers). Sans rentrer dans une classification précise des différents cas d'usages de l'IoT (abordé dans le chapitre 4 sur les « Cas d'usages ») nous proposons de segmenter les services en fonction du niveau de complexité et d'interaction humaine engendrée :

- Niveau 1 : La plateforme applicative : Un paramétrage pour l'usage « métier » de la plateforme IoT est réalisé et donne accès à l'ensemble des composants présentées au paragraphe précédent.
- Niveau 2 : Le service fait appel à un ensemble de technologies plus complexes comme l'intelligence artificielle afin de croiser d'immenses quantités de données aux protocoles et

standards différents, pour réaliser différentes tâches comme des analyses prédictive et l'automatisation d'actionneurs avec parfois des prises de décision en local du système.

- Niveau 3 : L'IoT permet in fine une intervention humaine ciblée avec le client final grâce aux informations remontées par les capteurs

D'un point de vue « poids » économique, cette chaîne de valeur est aujourd'hui portée par le software (~65%)⁷. Les GAFAM ont ces dernières années adoptés une stratégie de croissance verticale consistant à proposer leurs services sur l'ensemble du pan Software de la chaîne de valeur. Dans le chapitre 2, nous reviendrons en détail sur le positionnement des différentes entreprises de l'IOT.

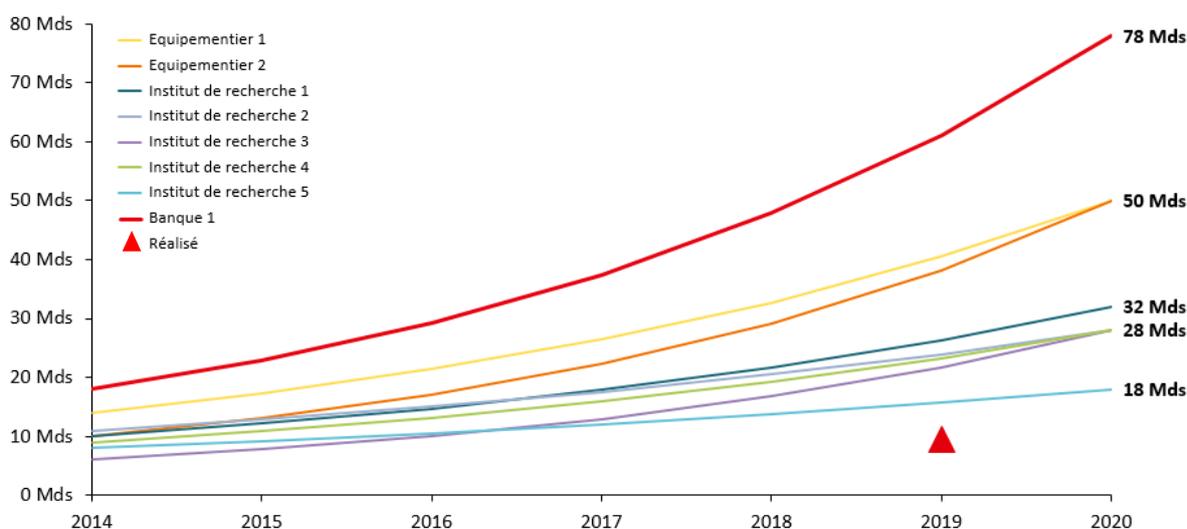


⁷ Source : Analyse PMP

Le marché de demain : Vers une migration de la valeur du hardware vers le software

Les projections réalisées dans le passé nous ont démontré qu'il est difficile de prévoir la croissance du marché de l'IoT. En 2014 de nombreux instituts, équipementiers et banques d'affaires avaient tenté d'évaluer le nombre d'objets connectés sur le marché à l'horizon 2020 (figure 6) :

Figure 6 : Estimation 2014/2019 du marché de l'IoT vs réalisé⁸

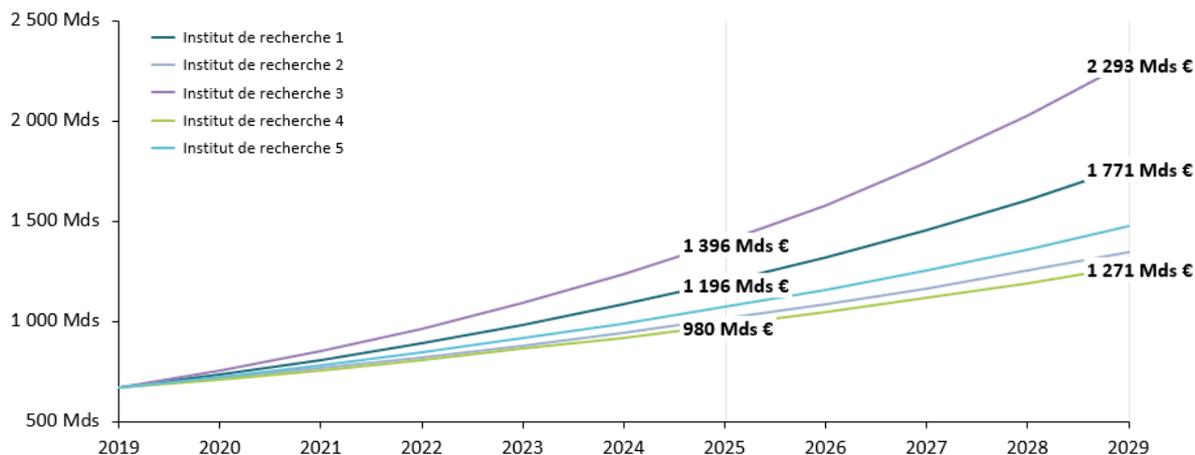


L'écart à terme entre l'estimation la plus forte et la plus faible était alors de plus de 275%. Une banque d'affaires de premier rang chiffrait à 78 milliards le nombre d'objets dans le monde en 2020. Les équipementiers imaginaient le marché atteindre les 50 milliards d'unités quand les instituts de recherche envisageaient un marché situé entre 18 et 28 milliards d'objets. In fine, l'écart entre le réalisé estimé à 9,5 milliards d'objets fin 2019 et les projections les plus conservatrices (16 milliards d'unités) est d'environ 70%.

Bien que le marché soit aujourd'hui plus mature qu'il y a 5 ans, les projections pour les années à venir restent toujours aussi complexes. Les dernières analyses tablent sur un marché IoT valorisé entre 1 et 1,4 milliards d'euros fin 2025, avec un potentiel allant jusqu'à 11 milliards dans le meilleur des cas :

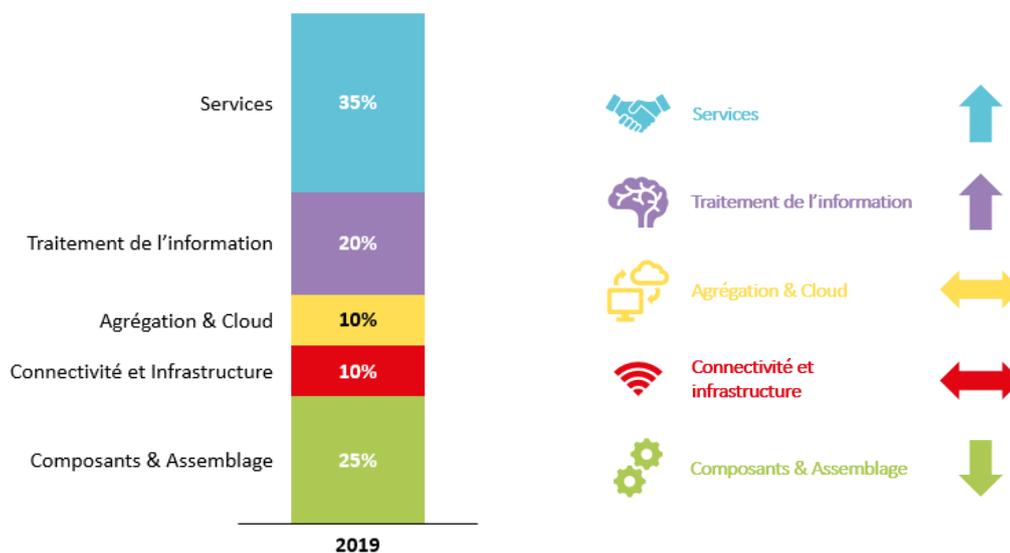
⁸ Source : IoT Analytics, IDC, Gartner, PMP

Figure 7 : Projections 2025/2029 du marché de l'IoT⁹



En termes de potentiel de croissance, ce sont l'Amérique Centrale et du Sud qui devraient tirer leur épingle du jeu selon IoT Analytics. Le Mexique, la Colombie et le Chili bénéficieraient des plus fortes croissances. Entre 2019 et 2022, les projections parlent d'un taux de croissance annuel moyen de 20% pour les trois pays.

Si le marché de l'IoT est donc voué à croître ces prochaines années tous les maillons de la chaîne de valeur ne devraient pas évoluer à la même vitesse :



Composants & assemblage

En 2019, la valeur des premières couches « composants » et « assemblage » était estimée à 25% de la chaîne de valeur totale. Si la demande en volume continuera à croître ces prochaines années, les prix devraient avoir tendance à se réduire (excepté sur quelques marchés de niches à forte valeur

⁹ Sources : IoT Analytics, IDC, Gartner, PMP, GSMA

ajoutée). A noter que toutefois certains nouveaux acteurs et modèles économiques émergent. Des PME comme Socomec, baumer ou encore Solem ont développé des capteurs communiquant en parallèle d'une plateforme IoT intégré à l'offre. Cette stratégie permet d'augmenter la marge sur le capteur en échange d'un accès gratuit à la plateforme pour un usage simple de visualisation des données. La plateforme devient alors un outil de marketing pour garder le lien commercial avec le client et permet de proposer des services payant à forte valeur ajoutée pour des applications de maintenance par exemple.

Connectivité

Les acteurs de la maille « connectivité » évoluent également sur un marché mature. Les opérateurs mobiles, réseaux et d'infrastructures sont encouragés par le marché à investir d'importants montants pour déployer les nouveaux standards en matière de connectivité (5G, fibre optique, LPWAN...). Mais les prix de marché ne sont pas à la hauteur de sa valeur d'usage, et les marges sont faibles. Les clients de la connectivité perçoivent le service comme une commodité et sont en réalité assez agnostiques sur le choix de la technologie mis à leur disposition. Rentrent également en jeu les organismes de standardisation qui maintiennent un rythme soutenu en matière de calendrier de déploiement des dernières technologies (Releases). Les acteurs de la connectivité ont compris que la croissance devait être capturée plus en aval de la chaine de valeur. Les opérateurs se mettent à investir de plus en plus dans les services. Pour toutes ces raisons, la connectivité qui pesait pour 10% de la chaine de valeur en 2019 devrait plutôt rester stable sur les prochaines années.

Agrégation, stockage & Cloud / Traitement de l'information

Les briques « agrégation, stockage & cloud » et « traitement de l'information » reflètent un marché en pleine croissance qui a vu son nombre d'acteurs plus que doubler¹⁰ en moins de 4 ans. C'est un marché avec un potentiel de développement technologique encore important (émergence de nouveaux outils d'interprétation de la donnée, exploitation des capacités de l'IA encore à son balbutiement) et en pleine structuration (standardisation des échanges de données, consolidation des acteurs...). Pour ces raisons, son poids dans la chaine de valeur devrait croitre ces prochaines années.

Services

Enfin, la maille « service » est très certainement celle aux plus belles perspectives de croissance. Les services IoT commencent à peine à émerger. Les entreprises sont encore majoritairement focalisées sur le lancement de POC (« Proof Of Concept » - projets de validation de principe) et les particuliers commencent à peine à adopter les assistants personnels dans leurs foyers. La marge de manœuvre pour transformer l'industrie est gigantesque ! L'IoT va permettre d'ajouter de nouvelles fonctionnalités

¹⁰ Source : IoT Analytics

à des produits physiques de notre quotidien (adapter l'éclairage d'une ville à l'activité du trafic routier par exemple), améliorer ou créer de nouveaux services innovants (matelas qui s'adaptent aux mauvaises postures pendant le sommeil), permettre aux entreprises d'étendre leur portefeuille d'offres à d'autres secteurs (Sur le marché américain, Google pourrait se lancer dans le secteur de l'assurance logements grâce aux données collectées au travers de ses enceintes connectées), les modèles de « Product as a Service » pourraient être étendus à un nombre considérables d'activités (les compagnies aériennes paieraient leur motorisation à l'usage, un locataire d'appartement pourrait accéder à la carte à différents services offerts par un bâtiment), un marché de l'achat/revente de données pourrait également se démocratiser (OTIS travaille sur un projet de stockage, analyse et revente des données issus de l'usage de ses ascenseurs aux propriétaires des bâtiments pour qu'ils puissent ensuite, par exemple, optimiser leurs espaces). En 2019, les dépenses en solutions logiciels/applications étaient évaluées à 35 milliards de dollar et devrait connaître une croissance soutenue de 18,9% (CAGR) sur les prochaines années¹¹.

¹¹ Source : IDC

A large red hexagonal frame with rounded corners, centered on the page. A light blue decorative shape is visible in the top right corner, partially overlapping the frame. A dotted light blue line runs across the bottom of the frame.

Chapitre 2 : Les acteurs de l'loT en France

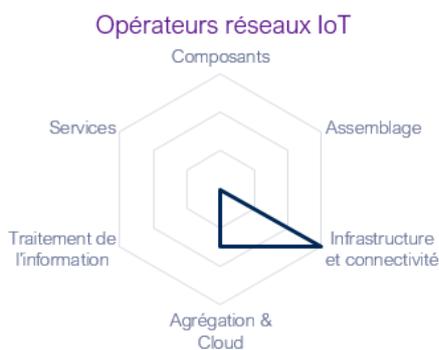
Plus de 400 acteurs coexistent sur le marché Français

Fin 2019, on comptait plus de 400 acteurs dans le domaine de l'IoT en France avec une tendance du marché est à la croissance verticale. Les acteurs cherchent à étendre leurs activités sur plusieurs maillons de la chaîne de valeur. Notamment ceux historiquement positionnés sur du Hardware qui désirent capter de plus en plus la valeur du côté Software. Des opérateurs mobiles jusqu'aux fabricants de processeurs 7nm, de la start-up implantée en Touraine au grand groupe international américain, le marché de l'IoT implique une variété d'acteurs que nous avons classés dans 12 grandes familles :

Figure 8 : Familles de l'IoT



A- Opérateurs réseau IoT

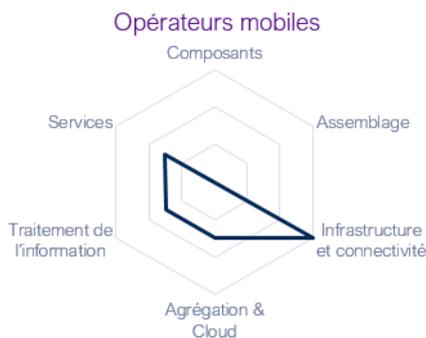


Ces « pure players » de l'IoT proposent trois grands types d'offres. Parmi les acteurs, on retrouve des entreprises telles que SigFox, Actility, Eurotech ou Qowisio qui interviennent à la fois au niveau de la connectivité (e.g. le réseau SigFox qui comprend des points hauts dans plus de 70 pays), du stockage des données (e.g. Actility) ou des services (e.g. Qowisio et ses services de supervision de l'énergie ou de géolocalisation).

Focus sur la LoRa alliance

Cette association à but non lucratif vise à promouvoir la technologie LPWAN (Low Power Wide Area Network) LoRaWAN. Parmi ces objectifs, il est question de favoriser la convergence des différents standards afin d'améliorer l'interopérabilité entre technologies et services IoT. La Lora Alliance compte aujourd'hui plus de 500 membres avec entre autres IBM, MicroChip, Cisco, Semtech, Bouygues Télécom, Singtel, KPN, Swisscom, Fastnet et Belgacom, les entreprises co-fondatrices de l'association.

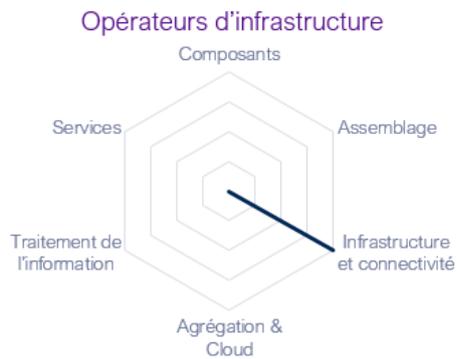
B- Opérateurs mobiles



Les opérateurs mobiles peuvent être segmentés en trois catégories. Tout d'abord, les MNO (Mobile Network Operator) représentés en France par les 4 acteurs Orange, SFR, Free et Bouygues Télécom. Historiquement présents sur la partie « connectivité » de la chaîne de valeur, les acteurs MNO proposent de plus en plus de services auprès des particuliers ou des professionnels (télé-surveillance, Cloud...). Deuxième grande catégorie d'opérateurs mobiles, les MVNO (Mobile

Virtual Network Operators). Début 2020, l'ARCEP recensait 27 entreprises MVNO sur le territoire national. Les acteurs MVNO ont pendant longtemps fondé leur avantage concurrentiel sur leurs bas tarifs. Ces dernières années les MNO se sont rapprochés de leurs grilles tarifaires. En recherche d'un nouveau business model, les acteurs MVNO souhaitent développer de nouveaux services notamment par l'intermédiaire de l'IoT. L'avantage concurrentiel des acteurs MVNO réside majoritairement dans la flexibilité de leur structure de coût. Pour eux, l'accès au réseau engage des Capex réduits puisque qu'ils le louent aux MNO et sont facturés en fonction de leur consommation. Cette flexibilité devrait permettre aux acteurs MVNO de concentrer leurs investissements sur des solutions IoT spécifiques aux différentes verticales et cas d'usages. Au cours des prochaines années, un nouveau type d'acteurs « IoT VNO » (Internet of Things Virtual Network Operators) pourraient voir le jour. Des entreprises sans aucun lien particulier avec l'univers des télécom pourraient investir dans le développement d'une activité « connectivité IoT ». Par exemple, un industriel pourrait générer sa propre connectivité et gérer son réseau IoT en interne pour ses différents sites de production. Enfin, dernière catégorie, les opérateurs mobiles à l'activité 100% B2B qui, déjà très proches des professionnels, vont pouvoir compléter leur offre actuelle avec des solutions impliquant l'IoT.

C- Opérateurs d'infrastructures

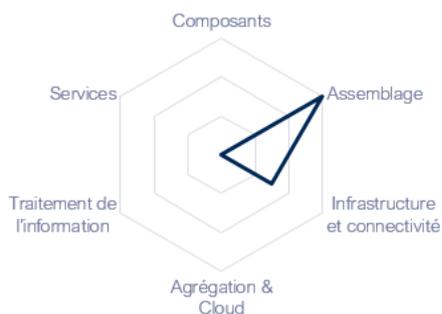


Parmi les opérateurs d'infrastructures on retrouve à la fois des acteurs privés et des acteurs publics. Le plus gros du marché est opéré par les acteurs privés. Les sociétés propriétaires des points hauts (pylônes) sont communément appelées Tower Co. Ces sociétés (Cellnex, ATC France, TDF), louent aux opérateurs IoT et mobiles des emplacements sur leurs points hauts pour que ces derniers puissent y installer des antennes, des cellules et autres équipements sans fil nécessaires à

l'activation d'un réseau. Du côté des acteurs publics on retrouve les collectivités et les bailleurs sociaux qui détiennent ou gèrent des emplacements stratégiques comme des toitures de bâtiments publics ou des clochers d'églises.

D- Equipementiers infrastructures réseaux

Equipementiers infrastructures réseaux



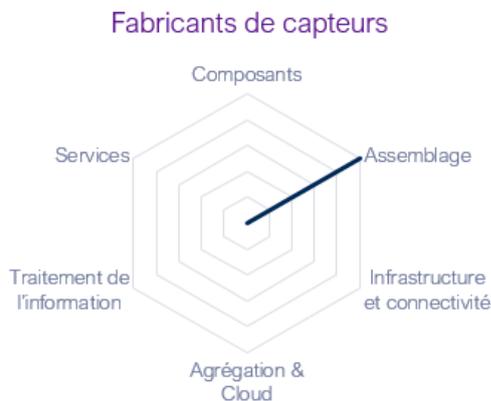
A l'échelle mondiale, quatre acteurs se partagent le marché. Les sociétés chinoises Huawei et ZTE qui détiennent à eux seuls plus de 35%¹² du marché (juin 2019) suivis de deux sociétés européennes Ericsson et Nokia avec environ 29%¹³ des parts de marché. Les équipementiers d'infrastructures réseaux conçoivent et assemblent tous les équipements techniques interopérables entre eux et nécessaires au fonctionnement d'un réseau IoT (stations de base, modem,

cœur de réseau, élément de transmission et routage, solution de stockage...). Le marché est actuellement dopé par le déploiement de la 5G qui impose l'implantation de nouvelles infrastructures. L'enjeu de la sécurité est devenu un sujet de première importance pour ces acteurs qui doivent rassurer les pouvoirs publics. En 2019, les mesures de rétorsion prises suite aux soupçons d'espionnage portés par Huawei ont impacté les performances commerciales et industrielles du fleuron chinois. Si les acteurs européens semblent tirer leur épingle du jeu, le leader mondial Huawei garde un avantage concurrentiel à la fois technologique et tarifaire. En mars 2019, les fabricants chinois avaient déposé 34% des principaux brevets mondiaux 5G. Les équipementiers d'infrastructures réseaux misent également sur une croissance verticale : elles développent des solutions de plateforme IoT ainsi que des services fondés sur l'usage de l'Intelligence artificielle, le machine learning, le cloud, la réalité virtuelle ou encore le big data. Pour exemple, Huawei a développé une offre Smart Cities et Cisco a racheté en décembre 2019 l'australien Exblaze spécialiste des réseaux LPWAN destinés aux salles de marché.

¹² Source : South China Morning Post – Août 2019

¹³ Source : South China Morning Post – Août 2019

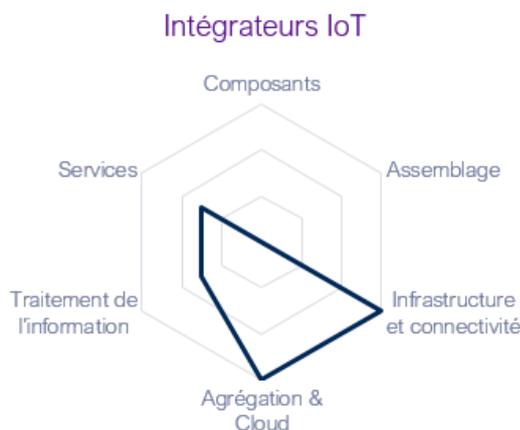
E- Fabricants de capteurs



Le capteur est l'élément clé qui libère l'information dans chaque objet. Les capteurs physiques, chimiques et biologiques deviennent de plus en plus petits, moins chers et plus rapides tout en répondant aux contraintes énergétiques et sécuritaires de demain. La France dispose d'un véritable savoir-faire en la matière avec par exemple l'entreprise NKE Wateco, leader européen des capteurs conçus pour l'IoT. Le marché mondial du capteur destiné à un usage IoT devrait atteindre les 48 milliards¹⁴ de dollars d'ici 2023 en poursuivant un taux

de croissance annuel moyen de 27,8%. En 2019, l'actualité s'est concentrée sur les capteurs automobiles. L'industrie de la voiture autonome valorisée à 24,10 milliards de dollars fin 2019¹⁵ devrait connaître une croissance annuelle moyenne de 18% jusqu'en 2025. Les véhicules autonomes sont particulièrement demandeurs en capteurs (radars, capteurs, LiDARs).

F- Intégrateurs IoT



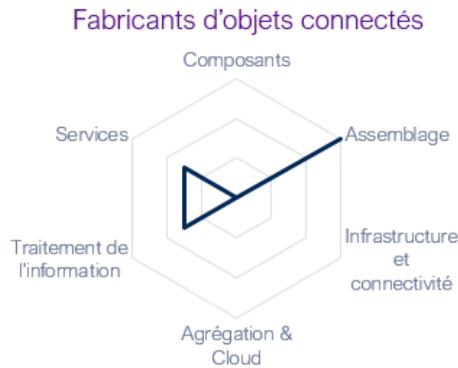
Les intégrateurs sont chargés de la bonne interopérabilité des systèmes IoT. De la connectivité jusqu'au service final en passant par les systèmes de traitement de données et leur stockage, les intégrateurs sont présents sur plusieurs étapes de la chaîne de valeur. Véritables chargés de projet, ils accompagnent les entreprises sur l'ensemble de leurs projets de transformation digitale IoT. Les acteurs peuvent être des « pure players » comme Commit ou encore Rtone, des opérateurs mobiles comme Vodafone ou encore des

équipementiers comme Ericsson. Tous cherchent à endosser le rôle stratégique et central de l'intégrateur. Ce marché est en train de se consolider, avec par exemple le rachat en novembre 2019 de l'intégrateur de système IoT Grandcentrix par le groupe britannique Vodafone.

¹⁴ Source : BCC Research

¹⁵ Source : Mordor Intelligence

G- Fabricants d'objets connectés

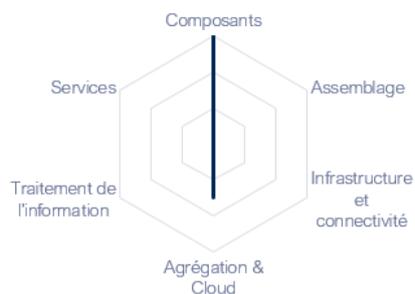


De la R&D à la distribution, en passant par l'engineering, l'industrialisation et la production, les fabricants d'objets connectés vont devoir répondre à une demande en forte croissance qui s'exprime en milliards d'objets. Conscients d'être à la source de la data, les fabricants adoptent leur stratégie en développant des solutions de plateforme IoT et services pour capter plus de valeur. Pour exemple, Bosch a officiellement lancé sa plateforme IoT « Bosch IoT Suite » en

février 2020. Le géant allemand travaille déjà avec des grands groupes comme Daimler qui utilise la solution pour mettre à jour à distance des millions de véhicules. A noter que les acteurs français sont aussi très bien positionnés sur le marché avec des sociétés comme Schneider Electric, Parrot ou Withings dans le secteur de la santé.

H- Fabricants de composants électroniques

Fabricants de composants électroniques

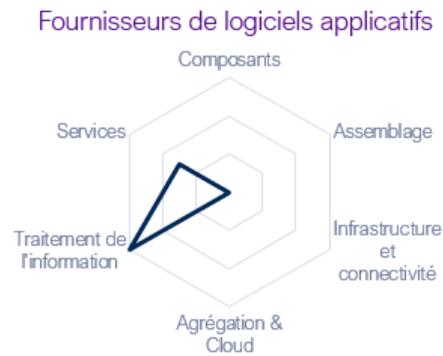


Les fabricants de composants électroniques rythment l'évolution technologique de l'ensemble de la chaîne de valeur. La réduction de la consommation énergétique, la miniaturisation, l'ergonomie et l'interopérabilité des composants sont les grands combats de ces acteurs. La performance économique des fabricants de composants électroniques réside principalement dans leur capacité à se différencier par l'innovation. En 2019, rares ont été les acteurs

à communiquer des revenus en hausse. Broadcom était l'un des rares acteurs des semi-conducteurs à afficher une croissance de ses revenus.

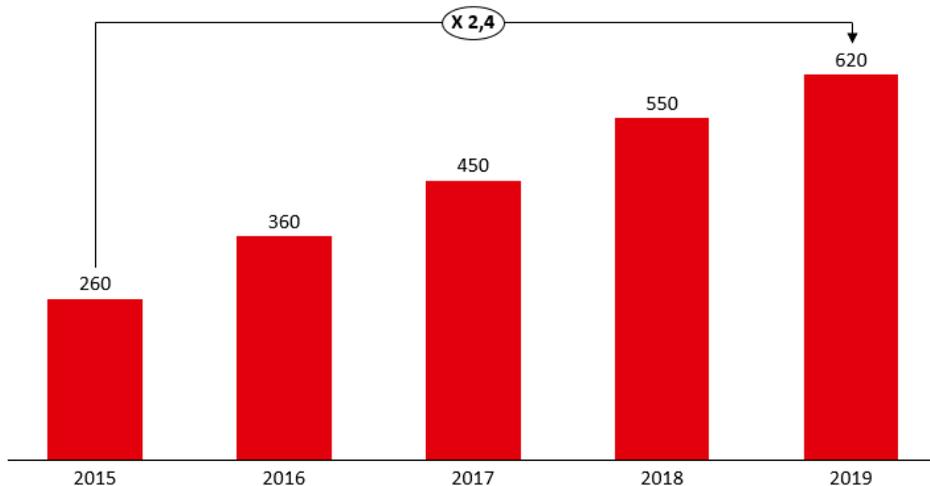
La société californienne a diversifié son activité historique via l'acquisition en août 2019 de la division « logiciels de sécurité et cloud » de la société Symantec pour 10 milliards de dollars.

I- Fournisseurs de logiciels applicatifs et plateformes IoT



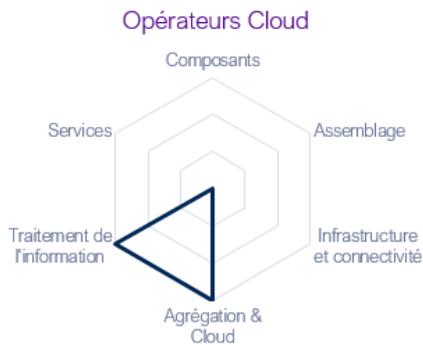
C'est le marché le plus dynamique et prometteur de l'IoT. L'offre de services software n'en est encore qu'à ses balbutiements. Rien que sur le marché de la plateforme IoT, le nombre d'acteurs entre 2015 et 2019 a plus que doublé pour passer de 260 fournisseurs de plateformes IoT à plus de 600¹⁶. De la petite start-up parisienne au géant Google tout le monde souhaite rejoindre ce nouvel Eldorado. Le marché devrait dépasser les 22 milliards de dollars d'ici 2023 ! Les offres peuvent être segmentées de deux manières en fonction des usages. Tout d'abord de façon horizontale, en proposant des solutions propres à une fonction de l'IoT (stockage des données, visualisation, sécurité...) ou bien de manière verticale en se spécialisant par industrie (smart cities, industrie 4.0...). Le nombre de plateforme IoT recensé dans le monde a été multiplié par 2,4 depuis 2015 :

Figure 9 : Evaluation du nombre de "Plateformes IoT" (source : IoT Analytics Research)



¹⁶ Source: IoT Analytics

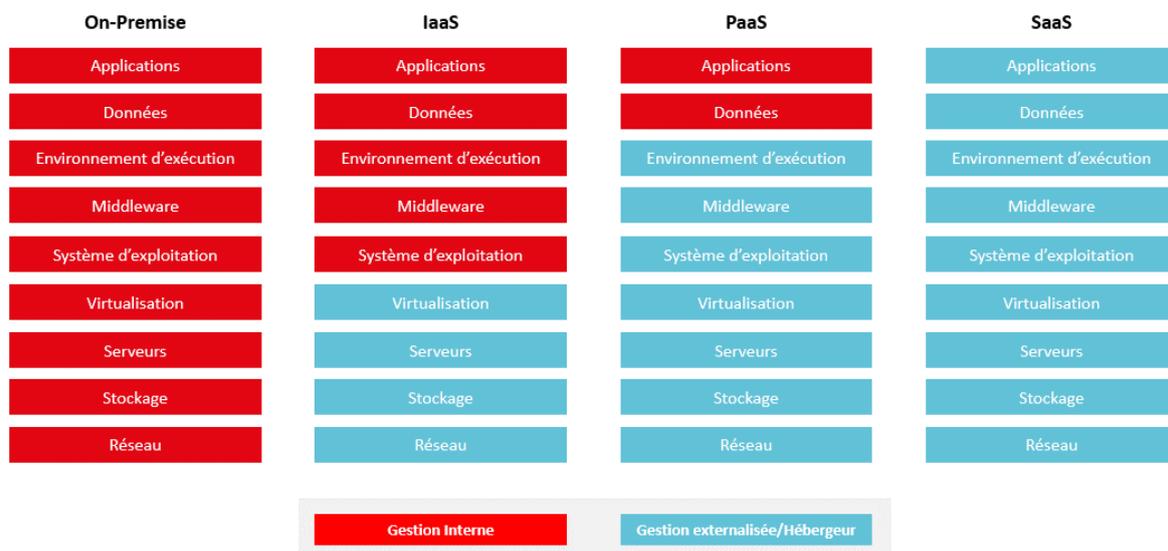
J- Opérateurs Cloud



La technologie Cloud est la mise à disposition par un tiers (Cloud Public) ou en interne (Cloud privé) d'un parc informatique, d'un réseau et de logiciels. Il existe trois types de solutions Cloud qui répondent chacun à un besoin différent. Les solutions SaaS (Software as a service) permettent d'externaliser à la fois les infrastructures matérielles requises pour le stockage de données en plus du software nécessaire pour les analyses et calculs. L'opérateur Cloud propose une

offre clé en main. Le client peut se connecter depuis différentes interfaces (navigateur web, smartphone...) et accéder à l'application (conçue par l'hébergeur) qui répond à son besoin (CRM, ERP, gestion de projet, machine learning...). Les solutions PaaS (Platform as a Service) permettent au client de disposer d'un environnement informatique tout en ayant l'accès à une suite d'outils pour les aider dans le développement, la personnalisation et le test de leurs applications. Enfin, les solutions IaaS (Infrastructure as a Service) permettent au client d'accéder aux infrastructures informatiques nécessaires au traitement, au stockage et à l'analyse de leurs données. Le client loue la partie matérielle (data center) et garde sur son système d'exploitation, ses applications et ses bases de données. Les quatre plus grands acteurs du marché sont AWS (Amazon), Azure (Microsoft), Google Cloud et IBM Cloud. Chaque année le marché semble se consolider un peu plus autour de ces quatre acteurs. Question tarification les prix du stockage de l'information sur serveurs restent stables alors que les prestations analytiques (IA, analyses prédictives, machine learning...) sont de plus en plus onéreuses. Les quatre géants ont eux aussi compris que les perspectives de croissance se cachent dans l'analyse de l'information et non dans sa sauvegarde.

Figure 10 : Degré d'externalisation dans le Cloud Computing



K- Incubateurs et accélérateurs

La France peut compter sur un solide écosystème de plus de 400 incubateurs et accélérateurs (hors incubateurs d'écoles, d'universités et d'entreprises). Un certain nombre de ces structures accompagnent les projets de création d'entreprises dans l'IoT. Elles jouent un rôle clé en amont et pendant la phase de lancement d'un projet entrepreneurial par la mise à disposition d'infrastructures, d'experts, d'aides au financement... Les acteurs peuvent être publics ou privés.

▪ Les acteurs publics

- **Les incubateurs de la recherche publique** accompagnent les projets d'entreprises qui s'appuient sur le résultat des laboratoires R&D publics. On compte 21 structures en France métropolitaine (ATLANPOLE en Pays de la Loire, AGORANOV en Ile de France, EURASANTE dans les Haut de France...).
- **Les Centres Européens d'Entreprise et d'Innovation (CEEI)** accompagnent des PME et des entrepreneurs aux projets innovants dans les régions défavorisées de l'Union Européenne.
- **Les collectivités locales** comme **les régions, les métropoles** ou **les départements** incarnent un rôle stratégique dans le développement des incubateurs et accélérateurs en France. Ces structures permettent de tisser un lien entre l'administration, le secteur privé et les start-ups. L'enjeu pour les collectivités est avant tout économique. Attirer et accompagner des projets d'entreprises innovants est un réel levier au développement du bassin de l'emploi. C'est au travers de sociétés publiques locales, de syndicats ou de sociétés d'économie mixte que sont constituées ces entités de soutien à l'innovation. A Lyon l'incubateur Tubà s'est spécialisé dans le secteur de la smart city, la ville de Toulouse en partenariat avec la région Midi-Pyrénées a créé l'IoT Valley, l'un des incubateurs IoT leader en Europe avec ses 40 start-ups incubées toutes spécialisées dans l'IoT B2B. La ville d'Angers a lancé en 2015 la « Cité de l'objet connecté » qui accompagne les entreprises innovantes dans leurs besoins d'accélération industrielle IoT. L'écosystème French Tech a aussi de son côté lancé en 2016 la création d'un écosystème IoT composé de 16 entités. On y retrouve des métropoles labellisées French Tech mais aussi des écosystèmes start-ups et des associations nationales d'entrepreneurs privés.
- Des **programmes gouvernementaux** sont créés pour favoriser le développement de projets IoT au sein d'entreprises déjà bien établies. Le ministère de l'Economie, de l'Industrie et du Numérique en partenariat avec l'association JESSICA France a accompagné au travers notamment du programme Captronic plus de 3 000 PME sur des projets d'amélioration de leur compétitivité grâce à l'intégration d'électronique et de logiciels embarqués dans leurs produits. L'Etat devrait transmettre ses responsabilités aux régions en 2020.

- Des **appels à projets internationaux** initiés par le gouvernement cherchent à favoriser le développement d'innovation dans l'IoT. La Banque publique d'investissement (BPI) en partenariat avec l'agence de recherche nationale du Japon « New Energy and Industrial Technology Développement Organization » (NEDO) ont lancé en 2019 un appel à projet pour favoriser l'émergence de projets économiques entre les deux pays autour de l'IoT.
- **Initiatives privées**
 - Les **incubateurs "Corporate"** sont développés par les grands groupes. Pour eux l'objectif est d'encourager l'émergence de "jeunes pousses" qui aideront la société à s'adapter aux changements de leur marché. C'est le cas pour le géant des centres commerciaux Unibail Rodamco Westfield qui a lancé son laboratoire d'innovation « URW Link ». L'IoT est au cœur du Retail de demain ! La division Cloud de Dassault Systèmes a également lancé un programme d'accompagnement pour toutes les start-ups de moins de 3 ans d'expériences et au chiffre d'affaires inférieur à 1 million d'euros impliquées dans les domaines du Big Data, de l'IoT, de l'IA et de la Sécurité.
 - Les **incubateurs privés des grandes écoles de commerce et d'ingénieurs** (HEC, ESSEC, ESCP, Polytechniques...). La richesse de ces structures réside notamment dans la qualité de leur réseau.

L- Les acteurs du Capital Risque

Sur les 11 premiers mois de 2019, les start-ups françaises de l'IoT auraient levé plus de 200 millions d'euros pour une moyenne de 4,8 millions d'euros par opération¹⁷. Ci-après la provenance des fonds par ordre d'importance :

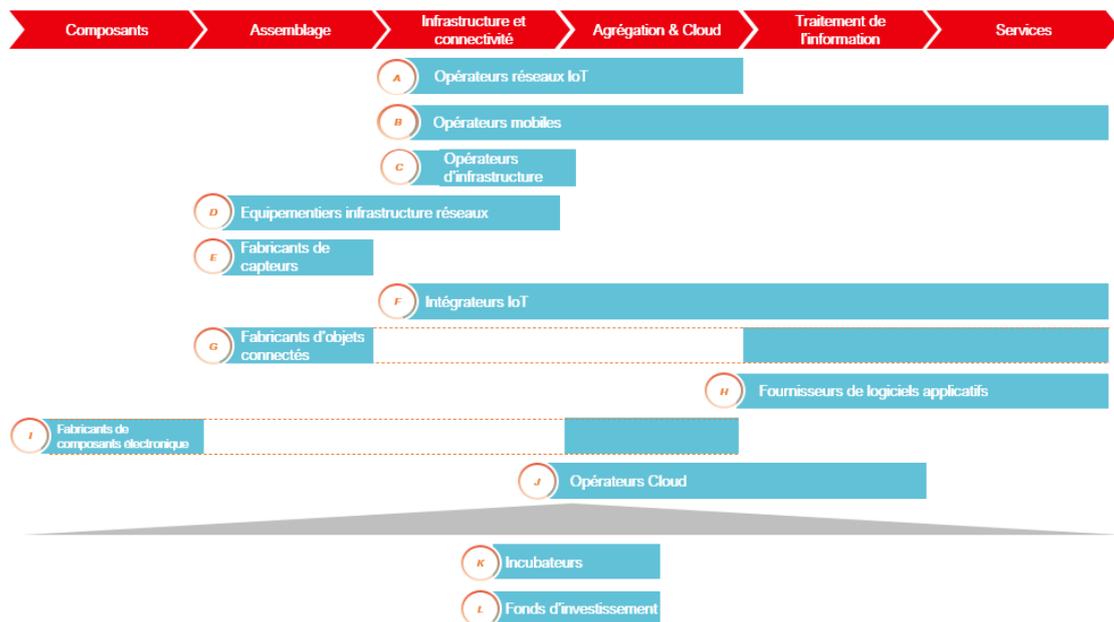
- Les **fonds de venture capital** (54,7% du nombre de financement entre janvier et novembre 2019) : les fonds VC traditionnels sont les principaux acteurs du financement de projets IoT. En France, sont particulièrement actifs la BPI (cinq opérations en 2019), Sofimac Innovation, Supernova Invest (trois opérations en 2019 chacun), Kreaxi et IT Translation Investissement (deux opérations en 2019 chacun). A mentionner, le fonds institutionnel Hardware Club créé par la BPI et le Crédit Mutuel Arkéa a lancé un fonds d'amorçage et de premiers tours (Hardware Club Fun 1) pour soutenir les jeunes pousses spécialisées dans la conception et la fabrication d'objets connectés. Au niveau mondial, les fonds VC les plus actifs en IoT restent américains. Les plus connus sont : Andreessen Horowitz, New Enterprise Associates, Khosla Ventures, Foundry Group, Kleiner Perkins.
- Les **Business Angels** (26,7%)

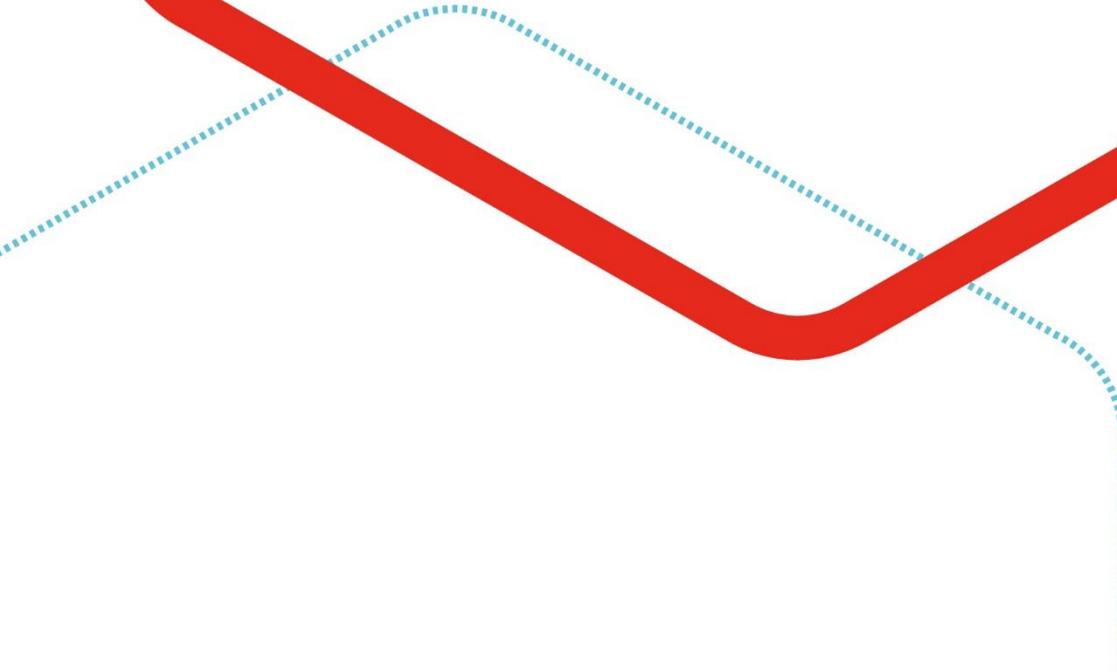
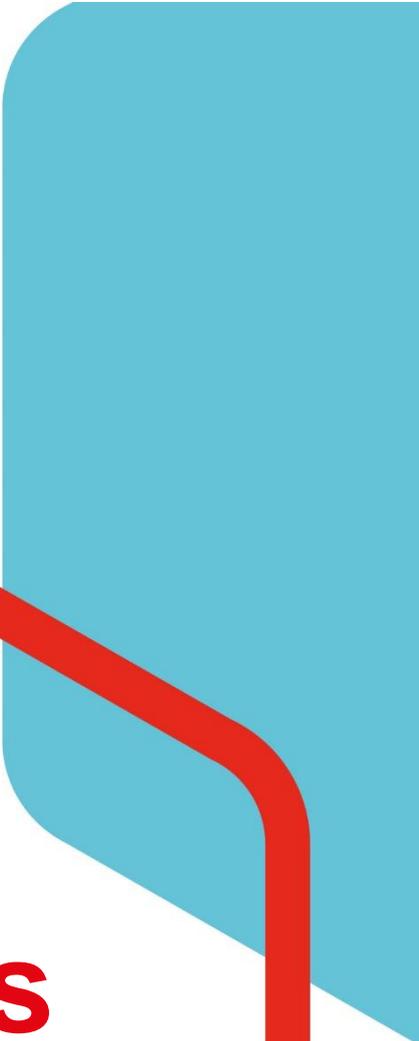
¹⁷ Eldorado.co

- **Les fonds VC Corporate (6%)** : Ces dernières années, de nombreux grands groupes ont créé leur propre structure d'investissement appelée Fonds CVC. Bien que le TRI soit un indicateur surveillé par ces structures, il l'est souvent moins que dans un fonds de venture capital plus traditionnel. En investissant dans une start-up le fonds Corporate peut espérer créer des synergies comme l'accès à un savoir-faire, des brevets ou un réseau commercial. Ces dix dernières années les entreprises françaises ont été nombreuses à créer leur entité de capital risque notamment encouragées par un dispositif fiscal préférentiel instauré par la loi finances 2013 (amortissement sur cinq ans des fonds investis dans la limite de 1% de leur actif total). Les plus importants CVC en IoT restent eux aussi américains. Les géants de la tech comme Cisco Investments, Intel Ventures, Google Ventures, GE Ventures et Qualcomm Ventures sont les plus actifs dans l'univers IoT. Au sein du groupe Caisse des dépôts, la Banque des Territoires investit également dans de jeunes sociétés innovantes qui présentent un enjeu d'intérêt général

Chaque famille d'acteurs se positionne différemment sur la chaîne de valeur

Figure 11 : Positionnement des acteurs sur la chaîne de valeur



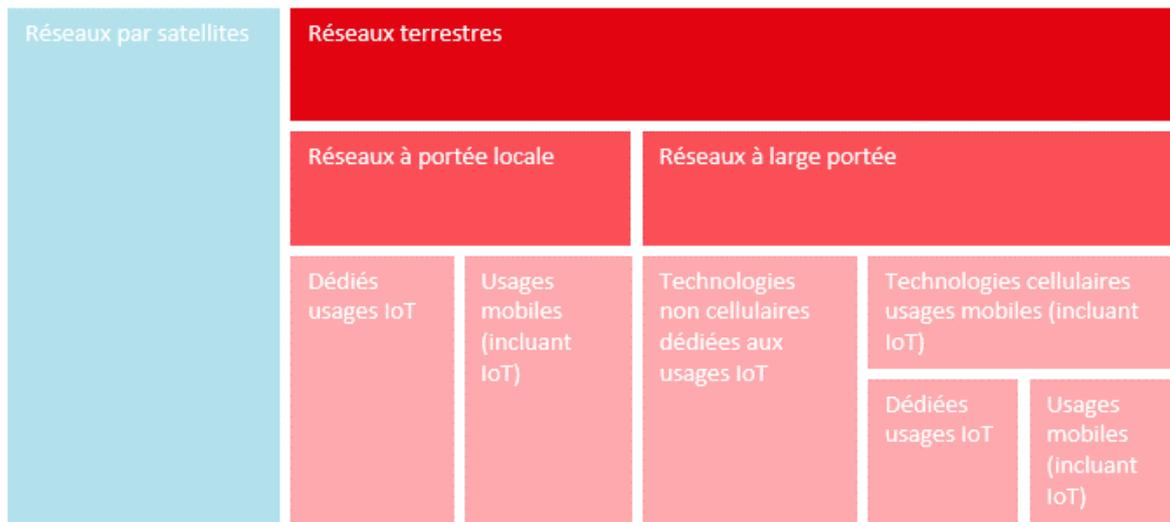


Chapitre 3 : Les technologies de communication de l'loT

Panorama technologique

La figure ci-dessous présente une répartition des différentes technologies supportant des usages IoT. Ces technologies sont réparties entre réseaux terrestres et réseaux par satellites. Dans les réseaux terrestres, nous retrouvons les réseaux à portée locale et les réseaux à large portée. Dans les réseaux à portée locale sont classées les technologies dédiées aux usages IoT et celles supportant des usages mobiles incluant l'IoT. Quant aux réseaux à large portée, y figurent les technologies non cellulaires dédiées aux usages IoT et les technologies cellulaires supportant des usages mobiles incluant l'IoT.

Figure 12 : Une multitude de technologies pour des besoins hétérogènes



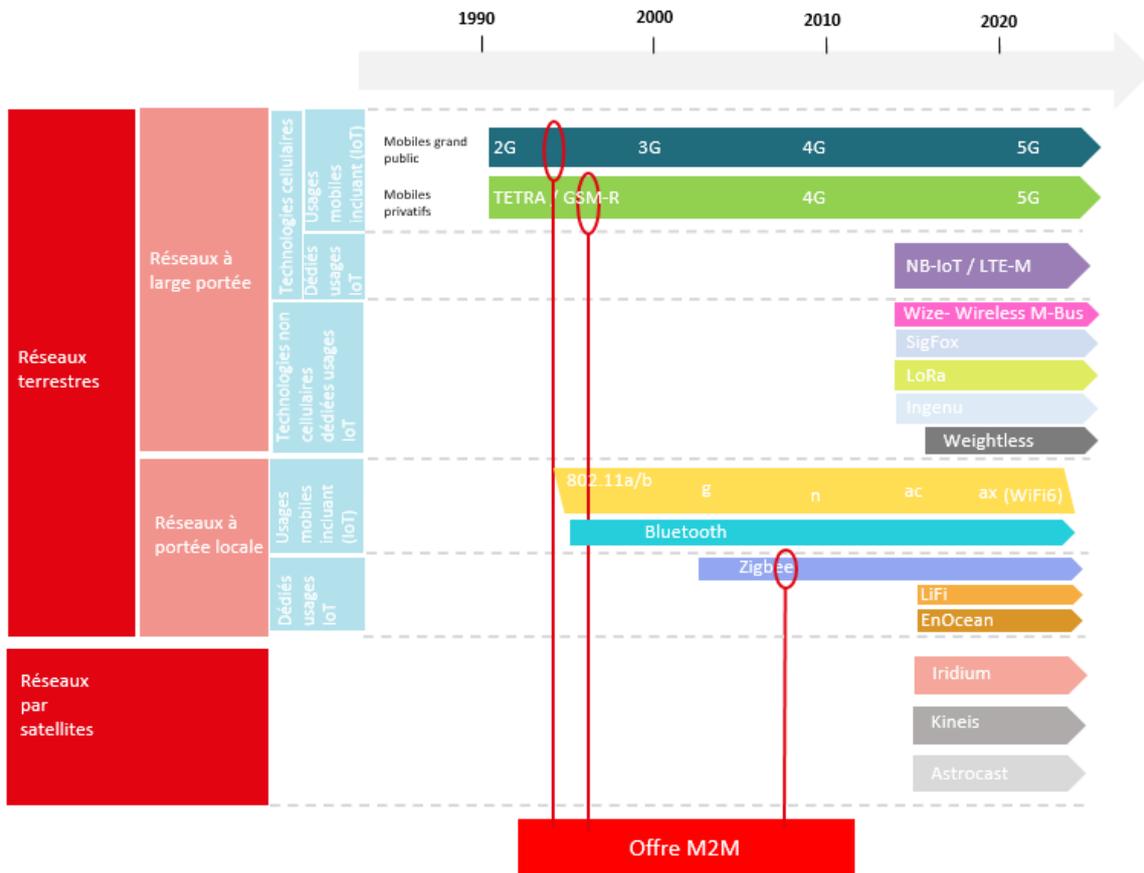
Dans le cadre de cette étude, l'ensemble des technologies sont analysées, sur la base des critères suivants :



Le terme IoT est certes récent, mais se réfère à un usage ancien, dénommé Machine to Machine : le Machine to Machine (M2M) désigne un ensemble de technologies de réseaux filaires ou non filaires

permettant l'échange automatique d'informations entre systèmes sans intervention humaine. Cet usage était déjà disponible, notamment sur les réseaux mobiles grand public (2G), les réseaux mobiles professionnels (TETRA), ainsi que sur les réseaux Zigbee et WiFi, comme le montre la figure ci-après :

Figure 13 : Un foisonnement de technologies pour répondre aux usages M2M et IoT



A- Les technologies cellulaires pour usages mobiles incluant l'IoT : 2G, 3G, 4G et 5G

Les réseaux mobiles 2G

A La maturité de la technologie : La technologie 2G, pour deuxième génération des réseaux mobiles, est standardisée par l'organisme 3GPP. C'est en 1991, en Finlande, que le premier réseau mobile 2G a été lancé commercialement, sous la dénomination GSM (Global System for Mobile communications). Il s'agit d'une technologie éprouvée.

En France, les trois opérateurs Bouygues Télécom, Orange et SFR ont déployé et exploitent des réseaux 2G. L'Arcep fait état de 95% de couverture en surface sur l'ensemble du territoire.

B Les réseaux 2G ont vocation à s'éteindre dans la mesure où le nombre d'utilisateurs de ces réseaux est en décroissance.

Les caractéristiques techniques : Les réseaux mobiles 2G regroupent les technologies suivantes :

- GSM : Global System for Mobile Communications est un standard développé par l'ETSI, puis repris par le 3GPP. Il permet un débit descendant de 9,6 kbit/s. Le standard GSM permet la transmission de voix et de messages courts.
- GPRS : General Packet Radio Service est une évolution de la technologie GSM qui permet un débit théorique de 40 kbit/s.
- EDGE : Enhanced Data Rates for GSM Evolution est également une évolution de la technologie GSM qui permet un débit théorique de 384 kbit/s.

La technologie 2G s'appuie sur une connexion orientée « circuit » (par opposition au mode dit « paquets »). La modulation utilisée est le TDMA « Time Division Multiple Access ». Il s'agit d'une modulation basée sur une division temporelle de la bande passante, ce qui permet d'allouer des intervalles de temps à plusieurs abonnés à tour de rôle.

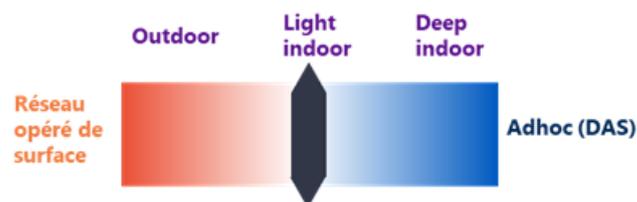
La largeur de bande est de 200 kHz, avec une latence de cinq à dix secondes. Du point de vue de la consommation énergétique, les modems dédiés aux usages IoT sont énergivores. Ces derniers consomment près de 400 mA chacun.

C **Le modèle de déploiement :** La technologie 2G est déployée exclusivement par les opérateurs de réseaux mobiles sur des bandes de fréquences dédiées. La bande de fréquence actuellement utilisée pour la 2G en France est la bande 900 MHz

D **L'état du marché :** Selon la GSMA, le nombre d'abonnés en 2G dans le monde est d'environ 1 500 000 000. Par ailleurs, de nombreux abonnements M2M subsistent en 2G, ce qui explique notamment le maintien de cette technologie.

E **La couverture :** La largeur de bande de 200 kHz favorise jusqu'à un certain point la propagation et la pénétration en indoor, particulièrement si le réseau est opéré en bande 900 MHz. Toutefois, lorsque la couverture extérieure ne permet plus de couvrir les zones en indoor, un complément de couverture doit être mis en œuvre. Il s'agit généralement d'un réseau d'antennes distribuées (DAS).

Figure 14 : Caractéristique de la couverture des réseaux mobiles 2G



La technologie 2G étant standardisée mondialement, elle est donc disponible à l'échelle nationale et internationale via des accords de roaming.

F **Le coût :** Le coût d'un abonnement 2G dédié à l'usage M2M se situe entre 5 et 10 € par mois, ce qui reste assez cher en comparaison des offres de connectivité IoT plus récentes.

Les réseaux mobiles 3G

A **La maturité de la technologie :** La technologie 3G, pour troisième génération des réseaux mobiles, est standardisée par l'organisme 3GPP.

Les premiers réseaux mobiles 3G ont été lancés au début des années 2000. L'Arcep indique 95% de couverture en surface sur l'ensemble du territoire français.

La technologie 3G est une technologie éprouvée. En France, les quatre opérateurs de téléphonie mobiles fournissent ce service : Orange, Bouygues Télécom, SFR et Free mobile.

Le nombre d'utilisateurs de ce réseau stagne, concurrencé par les offres des réseaux mobiles 4G qui permettent plus de débits et donc une multiplicité d'usages. La technologie 3G est amenée à disparaître à moyen terme.

B **Les caractéristiques techniques :** Les réseaux mobiles 3G regroupent les technologies suivantes :

- UMTS : Universal Mobile Télécommunications System est un standard 3GPP. Il permet un débit théorique de 1,9 Mbit/s. Il permet la transmission de voix et de données.
- HSPA : High Speed Packet Access, est une évolution de la technologie UMTS qui permet un débit théorique de 14,4 Mbit/s.
- HSPA+ : High Speed Packet Access +, est également une évolution de la technologie UMTS qui permet un débit théorique de 21 Mbit/s.
- DC-HSPA+ : Dual-Carrier High Speed Packet Access +, est également une évolution de la technologie 3G qui permet un débit théorique de 42 Mbit/s.

La technologie 3G s'appuie sur une connexion orientée paquet pour les données, mais la voix reste en mode circuit. La modulation utilisée est le W-CDMA « Wide band Code Division Multiple Access », modulation basée sur une technique de codage définie par le 3GPP. La largeur de bande est de 5 MHz et la latence des communications est d'environ 90 ms.

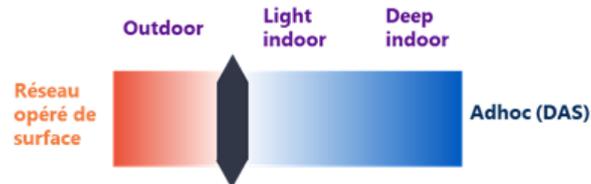
Du point de vue de la consommation énergétique, les modems dédiés à l'IoT en 3G sont énergivores. Ces derniers consomment ainsi près de 580 mA chacun

C **Le modèle de déploiement :** La technologie 3G est déployée exclusivement par les opérateurs de réseaux mobiles sur des bandes de fréquences dédiées. La bande de fréquence actuellement utilisée en 3G en France est la bande 900 MHz.

D **L'état du marché :** Selon la GSMA, le nombre de terminaux connectés en 3G dans le monde était d'environ 3.7 milliards en 2018. Par ailleurs, de nombreux abonnements M2M basés sur la technologie 3G sont toujours commercialisés

E **La couverture** : La largeur de bande de 5 MHz ne favorise pas la propagation et la pénétration indoor, même si le réseau est opéré en bande 900 MHz. La couverture des réseaux 3G reste en deçà de celle des réseaux 2G. De même, lorsque la couverture extérieure ne suffit plus à couvrir les zones en indoor, un complément de couverture doit être mis en œuvre. Il s'agit généralement d'un réseau d'antennes distribuées (DAS).

Figure 15 : Caractéristique de la couverture des réseaux mobiles 3G



La technologie 3G étant standardisée mondialement, elle est donc disponible à l'échelle nationale et internationale avec des accords de roaming.

F **Le coût** : Le coût d'un abonnement 3G dédié à l'IoT est équivalent à celui d'un abonnement 2G, soit entre 5 et 10 € par mois.

Les réseaux mobiles 4G

A **La maturité de la technologie** : La technologie 4G, pour quatrième génération des réseaux mobiles, est une technologie 3GPP standardisée mondialement. Les premiers réseaux mobile 4G ont été lancés en 2010. L'Arcep indique 83% de couverture en surface sur l'ensemble du territoire français. La technologie 4G est une technologie éprouvée.

En France, les quatre opérateurs de téléphonie mobiles fournissent ce service : Orange, Bouygues Télécom, SFR et Free mobile. Le nombre d'utilisateurs de ce réseau est en hausse. Elle sera bientôt relayée par la technologie 5G dont les capacités en trafic serviront à désaturer les réseaux.

B **Les caractéristiques techniques** : Les réseaux mobiles 4G comprennent les technologies suivantes :

- LTE : Long Term Evolution est un standard 3GPP. La norme LTE évolue à chaque sortie de release (release 8 et 9). La technologie permet un débit théorique de 150 Mbit/s et la transmission de voix et de données sur IP.
- LTE-Advanced : Long Term Evolution Advanced, est une évolution de la technologie 4G, standardisée dans le cadre des release 10 à 14 qui permet un débit théorique de 1 Gbit/s.

La technologie 4G s'appuie sur une connexion orientée totalement en mode paquet (voix et données). La modulation utilisée est l'OFDMA « Orthogonal Frequency Division Multiple Access », modulation basée sur une technique de codage associant les multiplexages en fréquence et en temps. La largeur de bande varie de 1,4 MHz à 20 MHz. La technologie offre une latence comprise entre 10 et 90 ms.

Du point de vue de la consommation énergétique, les modems dédiés à l'loT en 4G sont énergivores. Ces derniers consomment ainsi près de 800 mA chacun.

C **Le modèle de déploiement** : La technologie 4G peut être déployée en mode opéré ou en mode privatif sur des bandes de fréquences dédiées. Les bandes de fréquences utilisées en France pour le mode opéré sont 700, 800, 1800, 2100, 2600 MHz en FDD (Frequency Division Duplexing, pour allocation des fréquences aux communications des terminaux) et en 2600 MHz TDD (Time Division duplexing, pour allocation d'intervalles de temps aux communications des terminaux) pour le mode privatif.

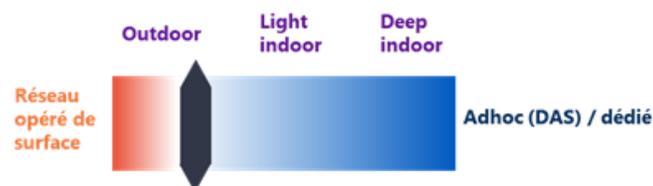
De plus, le ministère de la Défense a la possibilité d'utiliser la bande des 2,3 MHz (mode TDD) et le ministère de l'Intérieur des canaux situés dans la bande des 700 MHz (mode FDD).

D **L'état du marché** : D'après la GSMA, le nombre de terminaux connectés en 4G dans le monde, hors loT était d'environ 3.4 milliards en 2018. Par ailleurs, des abonnements M2M sont actuellement commercialisés en 4G.

E **La couverture** : Les largeurs de bande de la technologie 4G s'étendent entre 1.4 et 20 MHz en fonction des bandes de fréquences utilisées. On obtient donc logiquement une propagation et une pénétration indoor dégradée. Lorsque la couverture ne suffit pas, on peut recourir à la mise en œuvre de dispositifs de complément de couverture (DAS) ou de réseaux privatifs.

La technologie 4G étant standardisée mondialement. Elle est donc disponible à l'échelle nationale et internationale avec des accords de roaming.

Figure 16 : Caractéristique de la couverture des réseaux mobiles 4G



F **Le coût** : Le coût d'un abonnement 4G dédié à l'loT est supérieur à 10 €/mois.

Les réseaux mobiles 5G

A **La maturité de la technologie** : La technologie 5G, pour cinquième génération des réseaux mobiles, est une technologie 3GPP en cours de développement (release 15, 16 et 17). Les premières versions de cette technologie se concentrent sur l'objectif d'accroissement des débits de données.

Dans le cadre de la release 17, la New Radio Light (NR Light) est introduite. Il s'agit d'une version dépouillée de certaines fonctionnalités, permettant notamment une réduction de la consommation énergétique. Cette version n'est toutefois pas attendue avant 2023 voire 2024.

En France, les quatre opérateurs sont amenés à offrir ce service : Orange, Bouygues Télécom, SFR et Free mobile. Les premières offres de service sont attendues en 2020.

B **Les caractéristiques techniques** : La 5G permet des débits supérieurs à ceux disponibles en 4G. Cette technologie est basée sur la modulation OFDMA en version améliorée (orthogonal frequency-division multiple access, modulation qui marie les multiplexages FDMA et TDMA, cf. plus haut). La largeur de bande varie de 1,4 MHz à 100 MHz. Elle offre une latence très faible, de l'ordre de 1 ms.

Du point de vue de la consommation énergétique, les modems dédiés à l'IoT en 5G seront également énergivores. Ces derniers consomment ainsi près de 700 mA chacun.

C **Le modèle de déploiement** : La technologie 5G peut être déployée en mode opéré ou en mode privatif sur des bandes de fréquences dédiées. Les bandes de fréquences pressenties en France pour le mode opéré sont la bande 3500 MHz TDD et toutes bandes FDD actuellement exploitées par les opérateurs entre 700 et 2600 MHz). Pour le mode privatif, il s'agit potentiellement des bandes 2600 MHz TDD et 3500 MHz TDD.

Dans d'autres pays, la bande de fréquence 26 GHz, bande dite « millimétrique », est utilisée pour le déploiement de la 5G. Elle fait l'objet d'expérimentations en France au même titre que la bande 3,5 GHz.

D **L'état du marché** : L'estimation du site de la GSMA prévoit un chiffre de 1.4 milliards de terminaux connectés en 5G dans le monde à l'horizon 2025.

E **La couverture** : Les largeurs de bande des signaux 5G étant plus large, ils se propagent moins et pénètrent moins bien à l'intérieur des bâtiments que les signaux relevant des technologies 2G, 3G et 4G. Lorsque la couverture ne suffit pas, il faut recourir à la mise en œuvre de dispositifs de complément de couverture (DAS) ou de réseaux privés.

Figure 17 : Caractéristique de la couverture des réseaux mobiles 5G



La technologie 5G, tout comme la 4G pourra être disponible à l'échelle nationale et internationale avec des accords de roaming.

F **Le coût :** Le coût d'un abonnement 5G dédié à l'IoT est prévu d'être équivalent à celui d'un abonnement 4G, soit d'au moins à 10 €/mois.

B- Les technologies cellulaires dédiées aux usages IoT

Les réseaux NB-IoT

A **La maturité de la technologie :** La technologie NB-IoT, pour Narrow Band-IoT, est une norme industrielle mondiale, standardisée 3GPP en 2016 (Release 13 à 17).

En février 2019, près de 69 opérateurs ont déployé des réseaux NB-IoT dans 46 pays. La Chine réalise des déploiements massifs de solutions IoT basées sur la technologie NB-IoT. Des acteurs télécoms tels que Huawei, Qualcomm, Vodafone et T-Mobile proposent des solutions basées sur le NB-IoT. En France, SFR a lancé le déploiement du réseau NB-IoT en 2017.

B **Les caractéristiques techniques :** La technologie NB-IoT, technologie à bande étroite, permet des débits de 20 à 250 kbit/s.

Elle s'intègre sur les réseaux cellulaires existants (2G, 3G et 4G) et s'insère dans les bandes des opérateurs mobiles selon trois modes :

- Blocs de ressources LTE libres ou canaux GSM (Refarming/Standalone) ;
- Ressources spectrales au sein d'un canal LTE (In-Band) ;
- En bande de garde, au bord des blocs LTE (Guard band).

La technologie NB-IoT utilise la modulation OFDMA sur le lien descendant et la modulation SC-FDMA sur le lien montant. C'est une technologie sécurisée via l'authentification des cartes SIM sur le réseau cellulaire.

La largeur de bande varie entre 3,75 kHz, 15 kHz et 180 kHz, avec une latence inférieure à dix secondes.

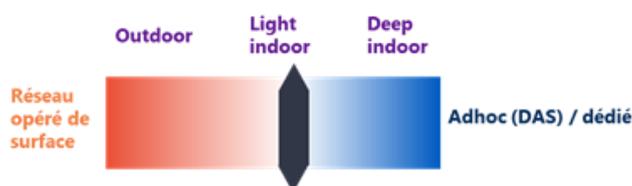
Le développement de la technologie vise à réduire au minimum la consommation électrique des modems. Ainsi, la consommation énergétique de ces modems est estimée à 190 mA.

C **Le modèle de déploiement** : La technologie NB-IoT peut être déployée en mode opéré ou en mode privé sur des bandes de fréquences dédiées. Les bandes de fréquences utilisées en France pour le mode opéré sont les bandes 700, 800 et 900 MHz en FDD. Bien que spécifié pour opérer en mode TDD, aucun déploiement de ce type n'a été constaté à ce jour.

D **L'état du marché** : Selon le site de la GSMA, le nombre d'objets connectés en NB-IoT en Chine était de 670 millions en 2018. 92 réseaux NB-IoT sont déjà déployés en janvier 2020.

E **La couverture** : La largeur de bande des signaux (3.75 kHz à 180 kHz) étant très étroite, cela permet une meilleure propagation et pénétration à l'intérieur des bâtiments, notamment par rapport aux technologies réseaux de téléphonie mobile 2G, 3G, 4G et la future 5G. Lorsque la couverture ne suffit pas, un dispositif de complément de couverture doit être installé.

Figure 18 : Caractéristique de la couverture des réseaux NB-IoT



La technologie NB-IoT, exploitant les réseaux cellulaires mobiles, elle est donc disponible à l'échelle nationale et internationale via le roaming sous réserve du déploiement de la technologie dans les pays concernés.

F **Le coût** : Le coût d'un abonnement NB-IoT est de l'ordre de 6 à 11 €/an. Il peut être financièrement et économiquement plus compétitif que les offres M2M reposant sur les réseaux historiques (2G et 3G) de téléphonie mobile.

Les réseaux LTE-M

A **La maturité de la technologie** : Le LTE-M, pour LTE-Machine Type Communication, est une déclinaison de la 4G pour les usages IoT. C'est une norme industrielle mondiale standardisée 3GPP (Release 13 à 17).

La technologie LTE-M est déployée en Europe, aux Etats-Unis, au Canada et au Mexique. Des accords de roaming européens permettront aux opérateurs d'offrir une couverture sur l'ensemble de l'Europe (le calendrier n'est pas établi).

En France, l'opérateur Orange déploie le LTE-M sur son réseau 4G et Bouygues Télécom annonce également un déploiement en cours.

B **Les caractéristiques techniques** : La technologie LTE-M est une déclinaison de la technologie LTE qui permet des débits allant de 375 kbit/s à 1 Mbit/s.

La technologie LTE-M utilise la modulation OFDMA sur le lien descendant et la modulation SC-FDMA sur le lien montant. C'est une technologie sécurisée par l'authentification des cartes SIM sur le réseau cellulaire.

La largeur de bande est de 1,4 MHz et la latence des communications inférieure à 100 ms.

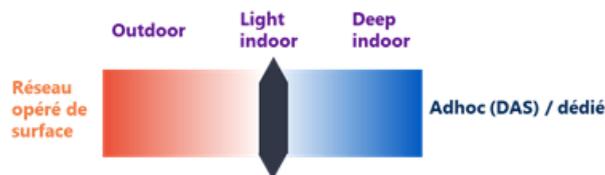
Le développement de la technologie vise à réduire au minimum la consommation électrique des modems. La consommation énergétique estimée à 235 mA, reste toutefois, supérieure à celle en NB-IoT.

C **Le modèle de déploiement** : La technologie LTE-M peut être déployée en mode opéré ou en mode privé sur des bandes de fréquences dédiées. Les bandes de fréquences utilisées en France pour le mode opéré sont toutes bandes FDD actuellement exploitées par les opérateurs entre les bandes 700 à 2600 MHz en FDD et les bandes 2600 TDD pour le mode privé.

D **L'état du marché** : Selon le site de la GSMA, 35 réseaux LTE-M ont déjà été déployés à date de janvier 2020.

E **La couverture** : La largeur de bande de 1,4 MHz étant la plus étroite du standard 4G, la propagation et la pénétration à l'intérieur des bâtiments des signaux relevant de la technologie LTE-M est plus favorable que celle des réseaux mobiles 4G et 5G. Lorsque la couverture ne suffit pas, on peut recourir à la mise en œuvre de dispositifs de complément de couverture (DAS) ou de réseaux privés.

Figure 19 : Caractéristique de la couverture des réseaux LTE-M



La technologie LTE-M, basée sur les réseaux cellulaires mobiles 4G, elle est donc disponible à l'échelle nationale et internationale via le roaming, sous réserve de déploiement de la technologie dans les pays concernés.

F **Le coût** : Le coût d'un abonnement LTE-M est de l'ordre de 2 à 10 €/mois (hors carte SIM à 5 €).

C- Les technologies non cellulaires dédiées aux usages IoT

Toutes les technologies ci-après se caractérisent en particulier par le souci de réduire la consommation électrique des modems, à des niveaux très inférieurs à ceux des modems de téléphonie mobile ou même des modems NB-IoT et LTE-M.

Wize – Wireless M-Bus

A **La maturité de la technologie :** La technologie Wize est dérivée du standard européen Wireless M-Bus. C'est une technologie éprouvée et déployée depuis 12 ans.

Le déploiement de la technologie Wize est axé sur les besoins industriels tels les compteurs communicants (gaz, eau et électricité).

L'Alliance Wize est une association créée en 2017, qui a pour objectif de promouvoir le protocole Wireless M-Bus. Parmi les acteurs clés de cette technologie, figurent GRDF et Suez sur des projets de compteurs d'eau/gaz communicants et sur la gestion environnementale (gestion des déchets, de l'eau).

B **Les caractéristiques techniques :** La technologie Wize permet des débits bidirectionnels allant de 1.2 à 6.4 kbit/s, pour un nombre de communications journalières illimité. Elle est basée sur la modulation GFSK et 4FSK.

La largeur de bande est de 75 kHz comprenant six canaux de 12,5 kHz de largeur. La latence observée avec la technologie Wize varie d'une à dix secondes.

Du point de vue de la consommation électrique, les modems Wize sont très peu énergivores. La consommation énergétique est estimée à seulement 30 mA.

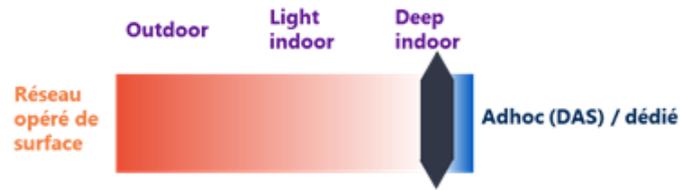
C **Le modèle de déploiement :** La technologie Wize peut être déployée en mode opéré ou en mode privatif sur des bandes de fréquences libres. La bande de fréquence utilisée en France et plus largement en Europe est la bande 169 MHz.

D **L'état du marché :** Selon le site de la Wize Alliance, plus de 10 millions d'objets sont connectés via la technologie Wize.

Cette technologie est concentrée sur le marché français et européen.

E **La couverture :** Les signaux de la technologie Wize possèdent une largeur de bande étroite (75 kHz) et opèrent dans la bande VHF (169 MHz) qui est très basse. Par conséquent, ils ont la propriété de se propager sur des longues distances et de plus facilement pénétrer à l'intérieur des bâtiments. Sur ces caractéristiques, l'écart est conséquent avec technologies réseaux de téléphonie mobile 2G, 3G, 4G et reste significatif avec les technologies NB-IoT et LTE-M. Néanmoins, lorsque la couverture ne suffit pas, il faut recourir à la mise en place d'un dispositif de complément de couverture ou de réseaux privés.

Figure 20 : Caractéristique de la couverture des réseaux Wize



La technologie Wize est exploitée sur une bande de fréquence libre est disponible à l'échelle nationale et internationale sous réserve de déploiement de la technologie dans les pays concernés.

F **Le coût :** Le coût de revient de la puce est d'environ trois euros, auquel il faut le cas échéant ajouter le prix de l'abonnement (sans carte SIM) qui s'élève à quelques euros par mois.

Sigfox

A **La maturité de la technologie :** Le réseau SigFox est un réseau propriétaire lancé dès 2009. Il s'agit d'une technologie éprouvée et déployée depuis huit ans.

Le réseau SigFox représente aujourd'hui près de cinq millions de kilomètres carrés couverts pour un total de 70 pays. Le réseau SigFox compte près de 2 500 antennes déployées en France. Son déploiement est notamment axé sur des usages relatifs aux smart cities / smart buildings aux chaînes d'approvisionnement et de logistique et à la sécurité des biens et des personnes.

Une particularité forte de SigFox est d'être à la fois opérateur et constructeur. Il reste donc entièrement propriétaire de sa technologie.

B **Les caractéristiques techniques :** La technologie SigFox permet l'envoi de messages courts, 140 messages maximum montants et quatre messages descendants par jour. Les débits atteignables sont de 100 bits/s en liaison montante et de 100 à 600 bits/s en liaison descendante. La modulation utilisée par SigFox est la DBPSK (Differential, Binary Phase Shift Keying) et GFSK (Gaussian frequency shift keying). La largeur de bande est de 100 Hz avec une latence variant d'une à dix secondes.

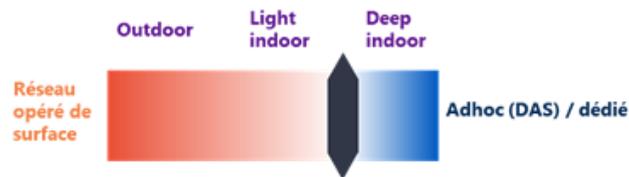
Le développement de la technologie vise à réduire au minimum la consommation électrique des modems. Ainsi, la consommation énergétique est estimée à seulement 37 mA.

C **Le modèle de déploiement :** La technologie SigFox peut être déployée en mode opéré et plus récemment en mode privatif sur des bandes de fréquences libres. La bande de fréquence utilisée en France et plus largement en Europe est la bande 868 MHz. Aux Etats-Unis, il s'agit plutôt la bande de fréquence 902 MHz.

D **L'état du marché :** Selon SigFox, le nombre d'objets connectés dans le monde via son réseau de 15.4 millions en 2019. 10 000 nouveaux modems ont été connectés sur le seul mois de janvier 2020.

E **La couverture :** Les signaux de la technologie Sigfox possèdent une largeur de bande très étroite (100 Hz). Par conséquent, ils ont la propriété de se propager sur des longues distances et de plus facilement pénétrer à l'intérieur des bâtiments. Sur ces caractéristiques, l'écart est conséquent avec technologies réseaux de téléphonie mobile 2G, 3G, 4G et reste significatif avec les technologies NB-IoT et LTE-M. Lorsque la couverture de l'opérateur SigFox ne suffit pas, il peut être recouru à un dispositif de complément de couverture privatif.

Figure 21 : Caractéristique de la couverture des réseaux Sigfox



La technologie SigFox, exploitée sur une bande de fréquence libre est disponible à l'échelle nationale et internationale. A noter néanmoins que le réseau SigFox ne couvre pas tous les pays à l'échelle mondiale.

F **Le coût :** SigFox propose des abonnements sans carte SIM à des coûts très faibles, de un à quatre euros par an par objet.

LoRa

A **La maturité de la technologie :** La technologie LoRa est lancée dès 2009 par la start-up Cycléo qui ensuite rachetée par Semtech. Elle est désormais sous l'égide de la LoRa Alliance. C'est une technologie reconnue et déployée dans 143 pays. La LoRa Alliance comprend une centaine de membres. Le déploiement de cette technologie est axé sur des usages type smart cities, monitoring industriel, monitoring de l'environnement et de l'agriculture. L'opérateur Bouygues Télécom déploie du LoRa à travers sa marque Objenius depuis 2015. L'opérateur Orange déploie également son réseau LoRa depuis 2015.

B **Les caractéristiques techniques :** La technologie LoRa permet l'envoi et la réception de paquets avec des débits allant de 200 bit/s à 27 kbit/s en fonction du Spreading Factor (SF). La technologie LoRa utilise la modulation à étalement de spectre (Chirp Spread Spectrum).

Les largeurs de bande possibles des signaux sont 125, 250 et 500 kHz, chacune permettant plus ou moins de débit.

Le développement de la technologie vise à réduire au minimum la consommation électrique des modems. Ainsi, la consommation énergétique est estimée à seulement 40 mA.

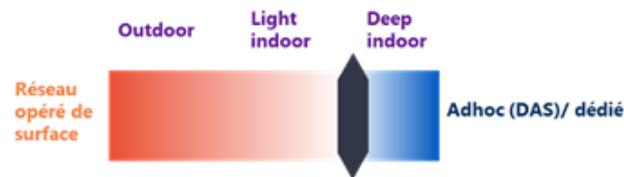
C **Le modèle de déploiement :** La technologie LoRa peut être déployée en mode opéré ou en mode privatif sur des bandes de fréquences libres. La bande de fréquence utilisée en France et plus

largement en Europe est la bande 868 MHz. Aux Etats-Unis, c'est plutôt la bande de fréquence 915 MHz qui est utilisée. L'utilisation de la bande de fréquence 2.4 GHz est en étude.

D **L'état du marché** : Selon le site de la LoRa Alliance, plus de 100 réseaux LoRa ont été déployés.

E **La couverture** : Les signaux de la technologie LoRa possèdent une largeur de bande étroite. Par conséquent, ils ont la propriété de se propager sur des longues distances et de plus facilement pénétrer à l'intérieur des bâtiments. Sur ces caractéristiques, l'écart est conséquent avec technologies réseaux de téléphonie mobile 2G, 3G, 4G. Lorsque la couverture ne suffit pas, il faut recourir à la mise en place d'un dispositif de complément de couverture ou de réseaux privés.

Figure 22 : Caractéristique de la couverture des réseaux LoRa



La technologie LoRa, exploitée sur une bande de fréquence libre est disponible à l'échelle nationale et internationale. Quelques accords de roaming sont en cours entre des opérateurs de différents pays.

F **Le coût** : Le coût d'un abonnement LoRa affiché par les principaux fournisseurs de service est supérieur à celui de SigFox, soit 1 à 2€ par mois.

Autres technologies non cellulaires dédiées aux usages IoT, peu présentes en France

Parmi les technologies non cellulaires dédiées aux usages IoT, figurent également d'autres technologies telles qu'Ingenu et Weightless.

Ingenu

Le réseau Ingenu est un réseau propriétaire américain. Il permet des débits montants de 78 kbit/s et des débits descendants de 19.5 kbit/s.

Cette technologie est basée sur la modulation RPMA pour Random Phase Multiple Access, avec une largeur de bande de 1 MHz. Le développement de cette technologie vise à rivaliser avec les technologies SigFox et LoRa. La consommation énergétique des modems Ingenu est estimée à 245 mA.

La bande de fréquence utilisée actuellement est la 2 400 MHz. Près de 38 réseaux Ingenu sont déployés à travers les Etats-Unis et l'Australie. Le réseau Ingenu n'est pour l'instant pas déployé en Europe.

Weightless

La technologie Weightless est standardisée Weightless SIG (Special Interest Group) et déployée depuis neuf ans dans près de 40 pays. Elle permet des débits montants de 0,625 à 100 kbit/s et des débits descendants allant de 6 à 100 kbit/s.

Cette technologie est basée sur la modulation TDMA. Les largeurs de bandes possibles sont 12,5, 50 et 100 kHz, chacune permettant plus ou moins de débits avec une latence de huit à douze secondes. La technologie Weightless vise également à réduire la consommation électrique des modems. Ainsi, la consommation énergétique est estimée à 49mA.

Les bandes de fréquence utilisées par la technologie Weightless sont 169, 433, 470, 780, 868, 915 et 923 MHz. Il s'agit de bandes de fréquences libres.

D- Les technologies de réseaux à portée locale

Wifi

A **La maturité de la technologie** : La technologie Wi-Fi est une norme mondiale standardisée IEEE 802.11. La première version de la norme a été publiée en 1997. Les normes ont évolué au fil des années, pour apporter toujours plus de débit aux utilisateurs, du 802.11b au 802.11ax (Wi-Fi 6) aujourd'hui.

B **Les caractéristiques techniques** : La technologie Wi-Fi permet des débits allant de 54 Mbit/s à 10 Gbit/s. Elle est basée sur la modulation OFDMA.

La largeur de bande d'un canal est de 20 MHz, avec la possibilité d'en agréger plusieurs (jusqu'à huit canaux), permettant plus ou moins de débit, avec une latence de 2 à 4 ms en Wi-Fi 6 (802.11ax).

La consommation électrique des modems Wi-Fi est moindre en comparaison des modems de téléphonie mobile. Elle est estimée à 150 mA.

C **Le modèle de déploiement** : La technologie Wi-Fi est déployée en mode privatif sur des bandes de fréquences à autorisation générale. Les bandes de fréquence utilisées sont les bandes 2.4 GHz et 5 GHz. Des réflexions sont menées pour autoriser l'usage des réseaux WiFi dans la bande des 6 GHz.

D **L'état du marché** : L'écosystème Wi-Fi est éprouvé, avec de nombreux terminaux dans le monde qui sont compatibles avec cette technologie.

- E** **La couverture** : La technologie WiFi reste abondamment utilisée dans le cadre d'application locale. Sa distance de couverture est de l'ordre de 10 à 150 mètres.
- F** **Le coût** : Le coût d'un modem Wi-Fi (i.e. le composant électronique contenu dans l'objet permettant de communiquer avec une borne Wi-Fi) varie entre cinq et dix euros.

Bluetooth

- A** **La maturité de la technologie** : La technologie Bluetooth est une norme mondiale spécifiée par le Bluetooth SIG (Special Interest Group) et déployée depuis 1999.

Le Bluetooth SIG continue de travailler sur la spécification qui a évolué de la norme V1.0 à la V5.

La technologie Bluetooth permet une connexion sans fil des appareils électroniques entre eux.

- B** **Les caractéristiques techniques** : La technologie Bluetooth permet des débits allant de 721 kbit/s à 24 Mbit/s. Elle est basée sur une modulation à phase (PSK). La largeur de bande des signaux est de 1 MHz.

La consommation électrique des modems Bluetooth est moindre en comparaison des modems Wi-Fi. Elle est estimée à 15 mA.

- C** **Le modèle de déploiement** : La technologie Bluetooth est déployée en mode privatif sur une bande de fréquence à autorisation générale. La bande de fréquence utilisée est la bande 2.4 GHz.

- D** **L'état du marché** : L'écosystème Bluetooth est éprouvé, avec de nombreux terminaux dans le monde qui sont compatibles avec cette technologie.

- E** **La couverture** : La technologie Bluetooth reste abondamment utilisée dans le cadre d'application très locale. Sa distance de couverture est de l'ordre d'un à dix mètres.

- F** **Le coût** : Le coût d'un modem Bluetooth varie entre trois et cinq euros.

Zigbee

- A** **La maturité de la technologie** : La technologie ZigBee est une norme mondiale standardisée 802.15.4 qui est régie par la ZigBee alliance. Elle est déployée depuis 2003. Cette standardisation permet l'interopérabilité entre les produits. Le déploiement de cette technologie est axé sur des usages type smart home, la gestion de l'eau, du gaz et l'électricité, et l'éclairage.

- B** **Les caractéristiques techniques** : La technologie ZigBee permet des débits allant de 20 kbit/s à 250 kbit/s en fonction de la bande de fréquence utilisée. La largeur de bande est de 2 MHz.

- C** **Le modèle de déploiement** : La technologie ZigBee est déployée en mode privatif sur des bandes de fréquences à autorisation générale. Les bandes de fréquences utilisées sont 868 MHz en Europe, 915 MHz aux Etats-Unis et Australie et la 2.4 GHz partout dans le monde.

D L'état du marché : La ZigBee alliance fait état de 300 millions de produits Zigbee déployés partout dans le monde.

E La couverture : La technologie ZigBee est utilisée dans le cadre d'application très locale. Sa distance de couverture est de l'ordre de 10 à 100 mètres.

F Le coût : Le coût d'un modem ZigBee varie entre un et deux euros.

Lifi

A La maturité de la technologie : La technologie LiFi est une norme mondiale standardisée 802.15.7. C'est une technologie de communication sans fil basée sur l'utilisation de la lumière visible.

Le déploiement de cette technologie est axé sur des usages de type logistique industrielle et géolocalisation.

Une caractéristique principale de la technologie Li-Fi est qu'elle permet le cloisonnement des données, la lumière ne pouvant traverser les murs. Cette caractéristique lui octroie une certaine sécurité des données. Cela limite toutefois sa portée en intérieur, le fonctionnement de la technologie étant restreint à la zone d'éclairage.

La Light Communication Alliance, association créée en 2019 promeut la technologie LiFi. Parmi ses membres, figurent des acteurs tels Nokia, Liberty Global et Lucibel.

B Les caractéristiques techniques : La technologie LiFi permet des débits allant de 10 à 43 Mbit/s avec une latence de 3 ms. La modulation utilisée est l'On-Off Keying (OOK).

C Le modèle de déploiement : La technologie LiFi est déployée en mode privatif sur des bandes de fréquences autorisation générale. Les bandes de fréquences utilisées sont les bandes 460 THz et 670 THz.

D L'état du marché : Selon la Global Market Insights, le marché mondial du LiFi est estimé à près de 75 milliards de dollars à l'horizon 2023.

E La couverture : La technologie LiFi est utilisée dans le cadre d'application à très courte portée limitée à la zone visible. Sa portée est faible, de l'ordre de quelques mètres.

F Le coût : Le coût d'un modem LiFi est supérieur à 100 €, ce qui reste assez élevé en comparaison à celui d'un modem Wi-Fi.

EnOcean

A La maturité de la technologie : EnOcean répond au standard IEC 14543-310 I qui est l'égide de l'EnOcean alliance. Il s'agit d'un réseau interopérable et sécurisé. La EnOcean alliance compte plus de 400 membres dont IBM, Microsoft, Bouygues Immobilier, Bouygues Construction.

C'est une technologie basée sur la récupération d'énergie issue par exemple des variations de mouvement, de lumière ou de température. Les solutions de la EnOcean alliance sont donc sans fil et **sans batterie**.

B **Les caractéristiques techniques** : La technologie EnOcean permet des débits de 125 kbit/s avec une latence de 0.6 ms. La largeur de bande des signaux est de 280 kHz. La technologie est basée sur une modulation d'amplitude (ASK) et de phase (FSK).

C **Le modèle de déploiement** : La technologie EnOcean est déployée en mode privatif sur des bandes de fréquences libres à autorisations générales. Les bandes de fréquences utilisées sont 868 MHz en Europe et en Chine, 902 MHz en Amérique du nord et 928 MHz au Japon.

D **L'état du marché** : Le marché de la technologie EnOcean se développe à grande échelle. Aujourd'hui plus de 500 000 logements (tertiaires et résidentiels) sont connectés EnOcean et plus de 1 500 produits interopérables.

E **La couverture** : La technologie EnOcean est utilisée dans le cadre d'application à très courte portée. Sa portée est de 30m dans un bâtiment et 300 m sans obstacles.

F **Le coût** : Le coût d'un modem EnOcean est estimé à quinze euros.

E-Les technologies de réseaux par satellite dédiées aux usages IoT

Kinéis

A **La maturité de la technologie** : Kineis est un opérateur satellite indépendant et privé, fournisseur de connectivité. Il opère un réseau qui s'appuie sur une nouvelle constellation satellitaire constituée de 25 nano-satellites. Cette constellation sera placée en orbite à l'horizon 2022. Ce réseau satellitaire permettra de localiser et collecter de la donnée en tout point. Le projet Kineis, lancé en septembre 2018 par la CLS avec l'appui du CNES, est la continuation du système Argos datant de 1980.

Le déploiement de cette technologie sera axé sur les secteurs tels que la pêche artisanale, la logistique, l'agriculture, les sports en extérieur, les activités marines et les sciences.

B **Les caractéristiques techniques** : Le réseau Kinéis repose sur :

- Des puces radiofréquences apportant une connectivité satellite à tout objet mobile.
- La constellation IoT qui sera constituée de 25 nano-satellites.
- Le centre des opérations : Ce centre des opérations sera fonctionnel 24h/24 et 365jr/an et traitera les données de la future constellation Kinéis.

C **Le modèle de déploiement** : Le réseau Kineis est déployé en mode opéré sur des bandes de fréquences dédiées. Les bandes de fréquences utilisées sont 400 et 460 MHz.

D **L'état du marché :** Le projet Kineis est en cours de développement. Il reste une problématique liée à la liaison montante, les objets gardant toujours une connexion terrestre sur cette dernière.

E **La couverture :** Le réseau Kineis permettra une couverture en extérieur uniquement et sera disponible à l'échelle nationale et internationale.

F **Le coût :** Le coût de la balise est inférieur à 100 €, avec un abonnement mensuel de l'ordre de 1 à 9 € à prévoir

Autres réseaux par satellite dédiés aux usages IoT

▪ Iridium

Le réseau Iridium est un système satellitaire permettant la connexion voix et données sur toute la surface de la terre, y compris à travers les océans, les voies aériennes et les régions polaires. Il repose sur une constellation mondiale unique de 66 satellites en orbite terrestre basse.

Les principaux utilisateurs sont des professionnels du secteur maritime, du transport aérien, pétrolier, chercheurs, voyageurs, et des militaires (agence gouvernementale).

Iridium dispose d'un peu plus de 800 000 abonnés en 2015, dont plus de la moitié relèvent d'usages IoT.

Iridium s'allie à Amazon Web Services (AWS) pour lancer une solution par satellite basée sur le cloud (Iridium CloudConnect). Cette solution permettra de compléter la couverture cellulaire d'AWS pour les applications IoT et les clients d'Iridium pourront tirer parti d'AWS.

▪ Astrocast

Astrocast permet une connexion bidirectionnelle et hautement sécurisée à tout objet en quelques minutes quelle que soit sa localisation.

Le développement de cette technologie est axé sur des secteurs tels les activités maritimes, pétrolières, les mines et la gestion environnementale (qualité de l'eau).

Astrocast a établi un partenariat avec l'agence spatiale européenne, Airbus, Thureya, afin de développer un réseau de communication par satellite le plus avancé et durable. Le réseau Astrocast opère avec des fréquences relevant de la bande L.

F- Synthèse

Les offres Machine to Machine existaient déjà sur les réseaux mobiles cellulaires 2G, 3G et 4G. Toutefois, les coûts élevés des abonnements et la consommation électrique importante des modems qui relèvent de ces technologies a permis à de nouveaux acteurs d'émerger sur des technologies (Wize, Sigfox et LoRa) bien segmentée sur l'usage IoT à faible débit. Ces technologies ont pour

caractéristiques communes de posséder des canalisations de signaux étroites et d'opérer sur des fréquences soumises à autorisation générale (libres).

Face à cette menace, les opérateurs de réseaux mobiles ont riposté, soit en :

- Intégrant la technologie LoRa dans leur portefeuille de services ;
- Développant des technologies telles que NB-IoT et LTE-M dont les caractéristiques se rapprochent des technologies IoT à faible débit qui opèrent sur des fréquences libres.

L'ensemble de ces technologies se heurte toutefois à différents degrés, à l'écueil de la continuité de service à l'intérieur des bâtiments dans lesquels les technologies de réseaux à portée locale prédominent.

Les solutions satellitaires sont quant à elles destinées à adresser les besoins d'IoT non couverts par les réseaux terrestres.

La figure ci-dessous présente une synthèse des différentes technologies étudiées :

Figure 23 : Synthèse des différentes technologies

	Maturité de la technologie	Caractéristiques techniques		Modèle de déploiement	Etat du marché	Couverture	Coûts
Réseau cellulaire 2G	1990	+++	+++	Opéré	+++	Light Indoor	+++
Réseau cellulaire 3G	2000	+++	+++	Opéré	+++	Outdoor	+++
Réseau cellulaire 4G	2010	+++	+++	Opéré & privé	+++	Outdoor	+++
Réseau cellulaire 5G	En déploiement	+++	+++	Opéré & privé	+++	Outdoor	+++
Nb-IoT	2015	+++	+++	Opéré & privé	++	Light indoor	++
LTE-M	2015	+++	+++	Opéré & privé	++	Light Indoor	++
Wize	2008	+++	+++	Opéré & privé	++	Deep Indoor	++
SigFox	2012	+++	+++	Opéré & privé	++	Light Indoor	+
LoRa	2011	+++	+++	Opéré & privé	++	Light Indoor	++
WiFi	1997	+++	+++	Privatif	+++	Courte portée	++
BlueTooth	1999	+++	+++	Privatif	+++	Très courte portée	+
ZigBee	2003	+++	+++	Privatif	+++	Très courte portée	+
LIFI	En déploiement	+++	NC	Privatif	+++	Très courte portée	+++
EnOcean	2011	+++	nulle	Privatif	+++	Très courte portée	++
Kineis	Satellites en déploiement	NC	+++	Opéré	++	Outdoor	+++

Etude de cas sur le département de la Loire

A- Présentation de la Loire et des niveaux de service

Caractéristiques de la Loire

L'étude de cas de la disponibilité des réseaux en zone peu dense est réalisée sur le département de la Loire. Ce dernier occupe une surface géographique de 4 781 km² et représente 0,88% de la superficie de la France métropolitaine.

Les communes les plus peuplées sont Saint-Etienne et Roanne. La population de la Loire est estimée à 762 222 habitants et représente 1,17% de la population de la France métropolitaine. La densité de la population de la Loire est de 159 habitants au km² (contre 105 de moyenne nationale). Ci-dessous la situation géographique de la Loire :

Figure 24 : Situation géographique de la Loire



Niveaux de service

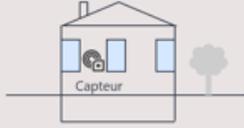
Différents niveaux de services sont définis pour réaliser l'étude de couverture radio. En effet chaque utilisateur en fonction de sa localisation sera soumis à différentes pertes de propagations environnementales. Par conséquent, les atténuations entre les niveaux de service suivants sont définies pour garantir les performances de chaque utilisateur en fonction de sa localisation. Nous prenons une hypothèse de 12 dB d'atténuation entre le seuil de couverture extérieur et celui dit « light indoor » qui représente les zones en intérieur avec une vue directe sur l'extérieur. Il s'agit des zones possédant un faible cloisonnement, tels les rez-de-chaussée. Nous prenons également une hypothèse de 22 dB d'atténuation entre le seuil de couverture extérieur et celui dit de « deep indoor ». Il correspond aux zones en intérieur avec aucune visibilité sur l'extérieur et/ou les zones enterrées telles que les sous-sols et les caves.

Les simulations sont réalisées en considérant une hauteur des terminaux à 25 cm.

Le modèle numérique de terrain du département de la Loire utilisé pour cette étude a été téléchargé sur le site ATDI avec une résolution de dix mètres. Ce qui signifie qu'un pixel sur cette carte représente en dimension réelle un carré de 10 m x 10 m.

Ci-dessous, une présentation des trois niveaux de service et leurs atténuations respectives :

Figure 25 : Atténuation entre les niveaux de services

1. Extérieur	Tout espace extérieur (champs, route, jardin,...)		Pas de facteur correctif
2. Light indoor	Simple cloisonnement, puits de lumière...		12 dB de facteur correctif
3. Deep indoor	Fort cloisonnement, sous-sol, HQE...		22 dB de facteur correctif

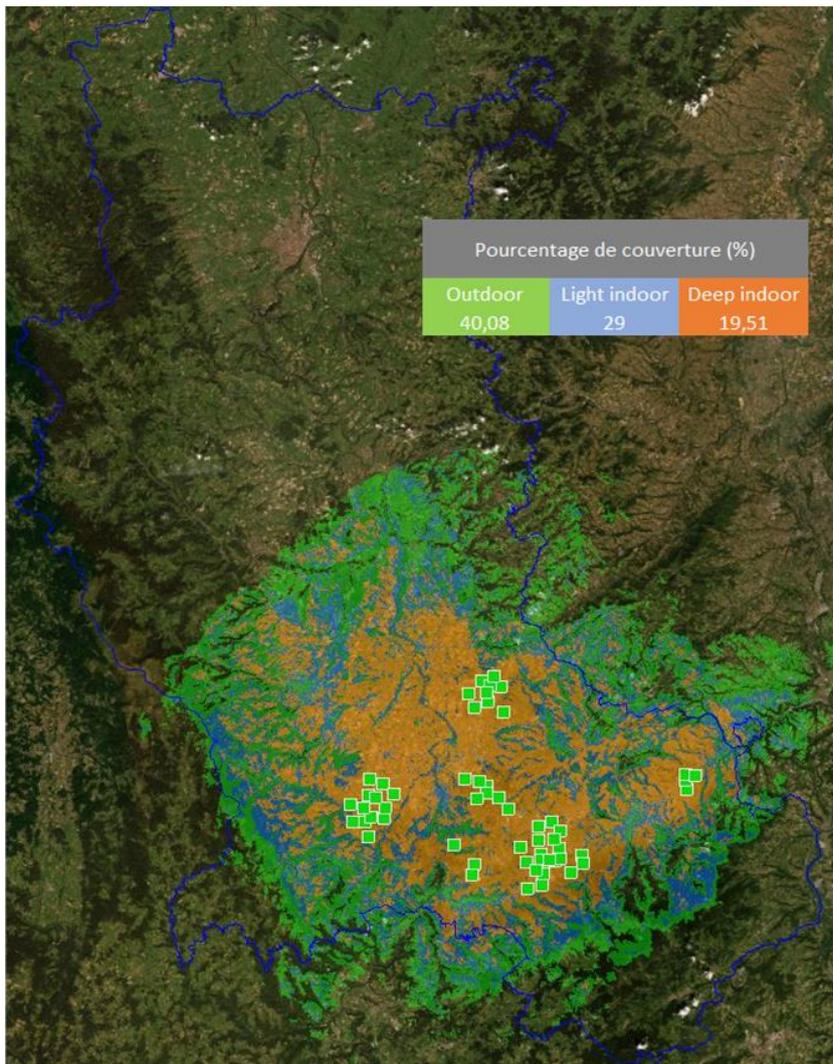
C- Présentation des cartes de couverture par technologie

Wize

La simulation Wize est réalisée à partir des 56 sites radio reçus de Suez pour le département de la Loire et sur la fréquence 169 MHz.

La carte de couverture obtenue à l'issue de la simulation de ces sites radios ainsi que le pourcentage de couverture associé à chaque niveau de service sont présentés ci-dessous :

Figure 26 : Carte de couverture et pourcentage Wize



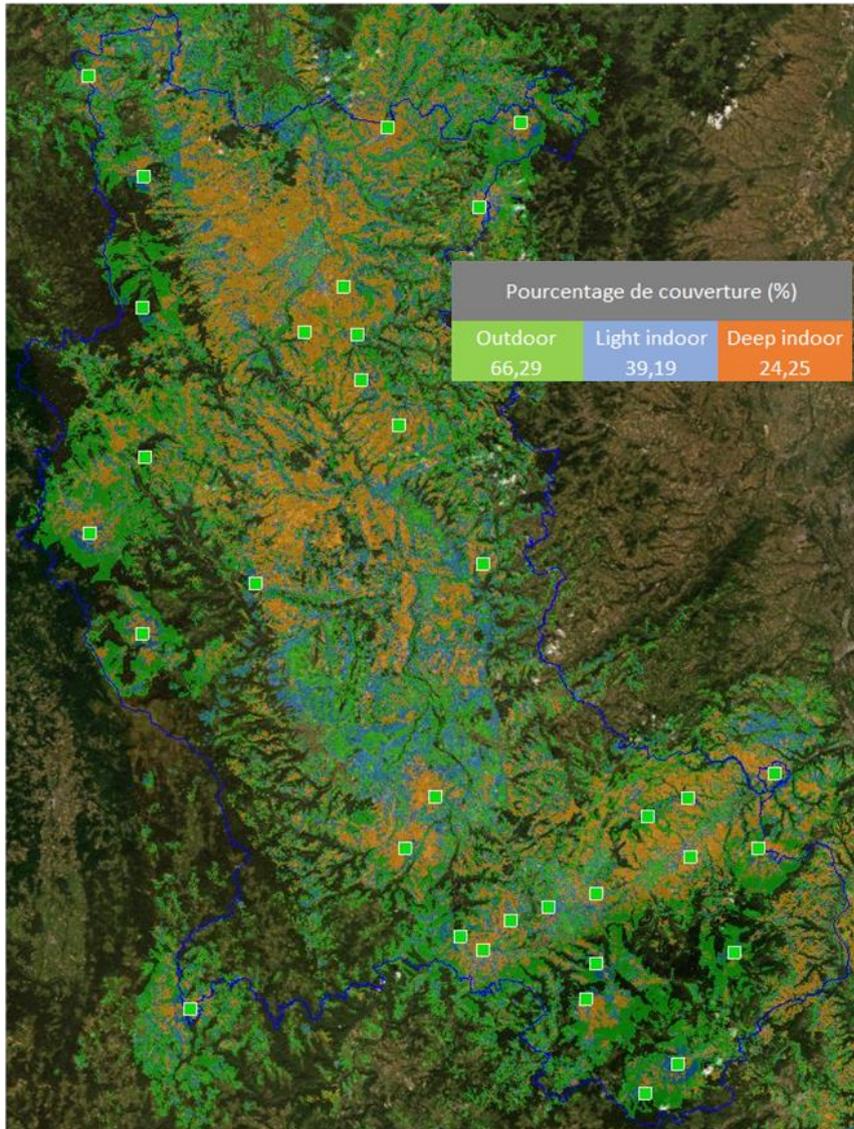
Les sites de Suez étant concentrés dans le sud de la Loire, la couverture globale est limitée. Cependant, nous pouvons voir que ces sites apportent individuellement une couverture assez large.

SigFox

La simulation SigFox est réalisée à partir de 34 sites radio, sur la fréquence de 868 MHz, en tenant compte des hypothèses de simulation reçues de SigFox.

La carte de couverture obtenue à l'issue de la simulation de ces sites radios ainsi que le pourcentage de couverture associé à chaque niveau de service sont présentés ci-dessous :

Figure 27 : Carte de couverture et pourcentage SigFox



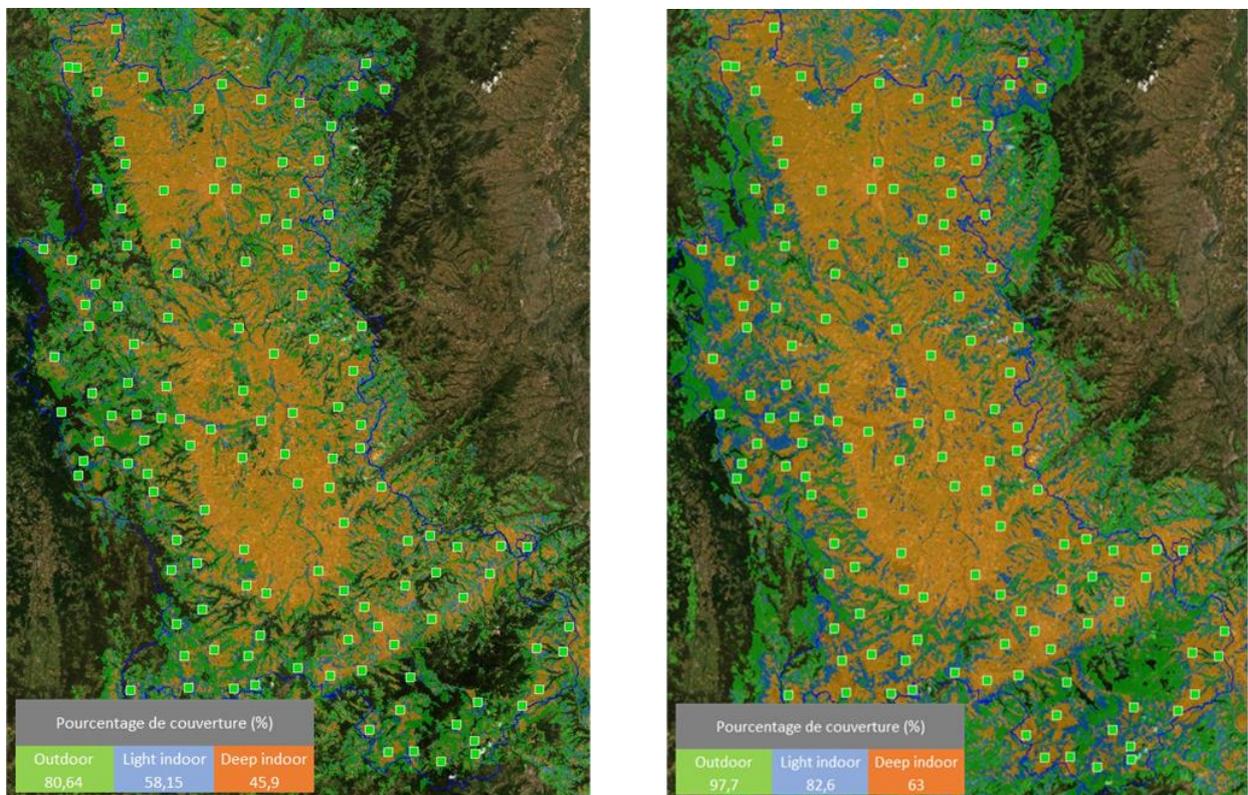
Nous pouvons voir que la couverture SigFox est assez large, cependant elle ne couvre pas totalement l'ensemble du territoire de la Loire, des trous de couverture sont observés. Par ailleurs, la couverture en service « light » et « deep » indoor reste inférieure à 50 %.

LoRa privé

La simulation LoRa en privé est réalisée à partir de 130 points hauts de mairies et églises disponibles sur le site de cartoradio pour le département de la Loire et sur la fréquence de 868 MHz. Cela est représentatif d'un réseau privé qu'une collectivité pourrait être amenée à déployer. Il est à noter que la couverture est plus ou moins importante selon le facteur d'étalement de spectre ou Spreading Factor (SF) paramétré sur le réseau. Plus ce dernier est élevé, moins le débit l'est, et inversement.

Les cartes de couverture obtenues à l'issue des simulations en SF7 (minimum) et SF12 (maximum) de ces sites radios ainsi que le pourcentage de couverture associé à chaque niveau de service sont présentés ci-dessous :

Figure 28 : Cartes de couverture et pourcentages LoRa privé SF7 et SF12



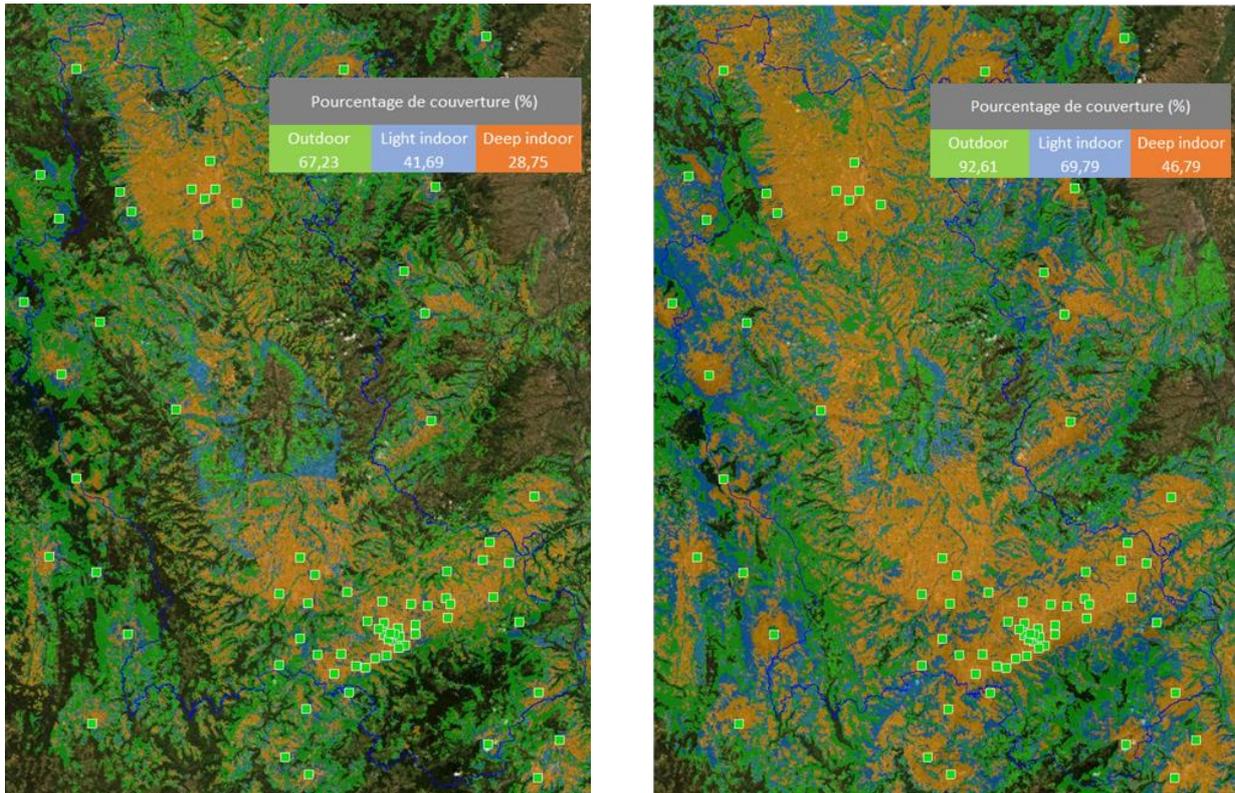
La couverture outdoor en SF7 est bien plus limitée que la couverture en SF12. Par ailleurs, la couverture en SF12 en outdoor est satisfaisante sur l'ensemble du département.

LoRa opéré

La simulation LoRa en opéré est réalisée à partir des 77 sites radio reçus via Objenious de Bouygues Télécom pour le département de la Loire, sur la fréquence de 868 MHz.

Les cartes de couverture obtenues à l'issue des simulations en SF7 et SF12 de ces sites radios ainsi que le pourcentage de couverture associé à chaque niveau de service sont présentés ci-dessous :

Figure 29 : Cartes de couverture et pourcentages LoRa opéré SF7 et SF12



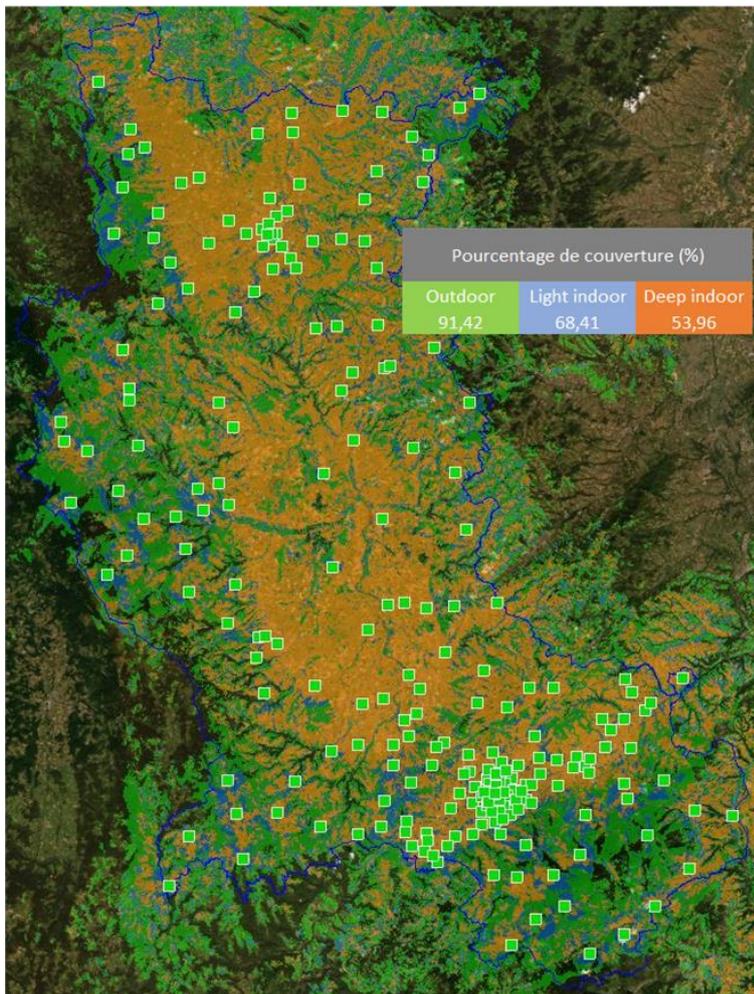
La couverture outdoor en SF7 est bien plus limitée que la couverture en SF12. En effet l'augmentation du facteur d'étalement de spectre (SF) permet de couvrir une distance plus grande mais avec un débit disponible plus faible. Par ailleurs, la couverture en SF12 en outdoor est satisfaisante sur l'ensemble du département.

NB-LoT

SFR a indiqué que le service NB-LoT n'était pas encore disponible sur le département de la Loire. La présente simulation vise à réaliser une projection de ce que pourrait être ce service si SFR l'activait sur les sites de son réseau mobile du département. Elle est ainsi réalisée à partir des 243 sites radio de SFR disponibles sur le site de cartoradio qui utilisent la bande 900 MHz.

La carte de couverture obtenue à l'issue de la simulation de ces sites radios ainsi que le pourcentage de couverture associé à chaque niveau de service sont présentés ci-dessous :

Figure 30 : Carte de couverture et pourcentage NB-LoT



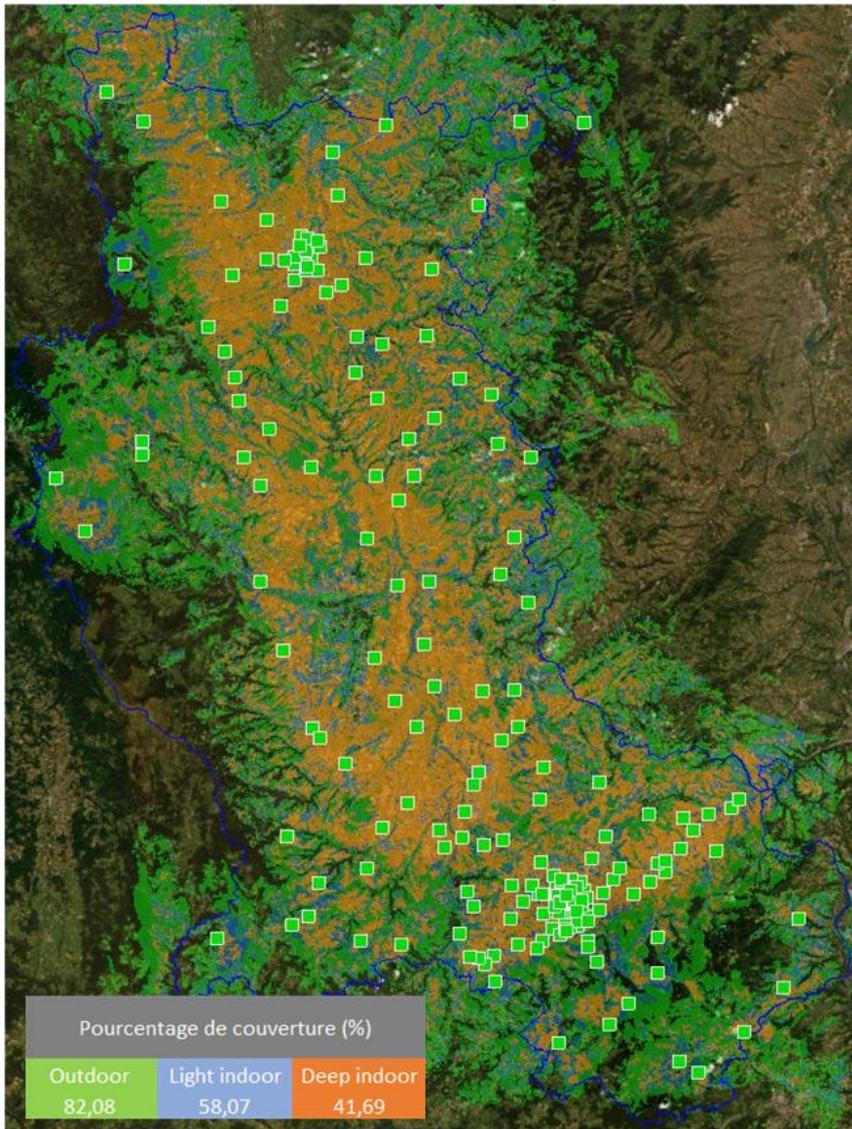
La couverture outdoor est satisfaisante, mais la couverture « deep indoor » reste elle, assez limitée.

LTE-M

La simulation LTE-M est réalisée à partir des 253 sites radio d'Orange en 800 MHz disponibles sur le site de carto radio.

La carte de couverture obtenue à l'issue de la simulation de ces sites radios ainsi que le pourcentage de couverture associé à chaque niveau de service sont présentés ci-dessous :

Figure 31 : Carte de couverture et pourcentage LTE-M



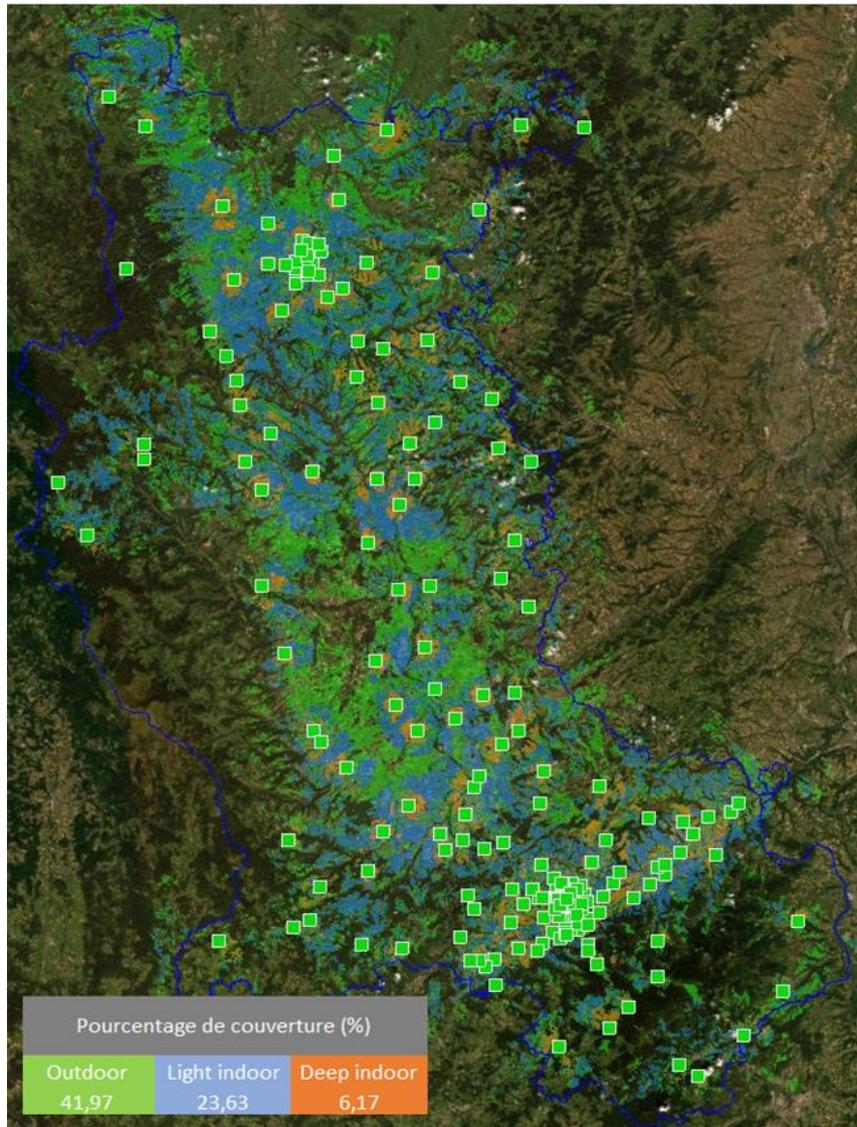
La couverture outdoor est satisfaisante, mais la couverture « deep indoor » reste elle, assez limitée.

Exemple d'un réseau mobile grand public haut débit LTE 10 Mbit/s

La simulation LTE 10 Mbit/s est réalisée à partir des 253 sites radio d'un opérateur télécom en 800 MHz disponibles sur le site de carto radio.

La carte de couverture obtenue à l'issue de la simulation de ces sites radios ainsi que le pourcentage de couverture associé à chaque niveau de service sont présentés ci-dessous :

Figure 32 : Carte de couverture et pourcentage LTE 10 Mbit/s



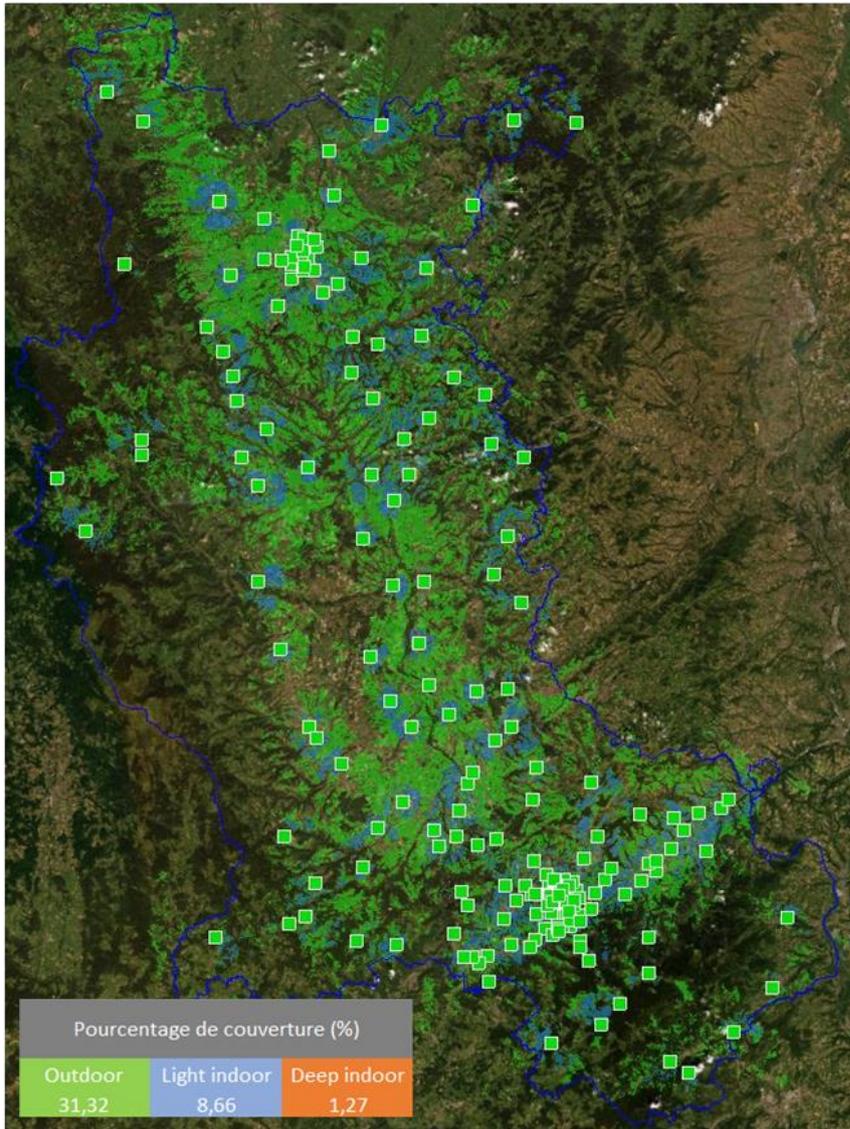
Les résultats obtenus montrent que la couverture outdoor à haut débit 10 Mbit/s est assez limitée voire quasi inexistante en « deep indoor ».

Exemple d'un réseau grand public mobile haut débit LTE Orange 30 Mbit/s

La simulation LTE 30 Mbit/s est réalisée à partir des 253 sites radio d'Orange en 800 MHz disponibles sur le site de cartoradio.

La carte de couverture obtenue à l'issue de la simulation de ces sites radios ainsi que le pourcentage de couverture associé à chaque niveau de service sont présentés ci-dessous :

Figure 33 : Carte de couverture et pourcentage LTE 30 Mbit/s



Les résultats obtenus montrent que la couverture outdoor à haut débit 30 Mbit/s est insuffisante voire quasi inexistante en « deep indoor ». Une couverture à haut débit reste donc insuffisante en générale, que ce soit à 10 ou 30 Mbit/s.

A large red hexagonal frame with rounded corners, centered on the page. A light blue decorative shape is visible in the top right corner, and a dotted light blue line runs across the bottom of the frame.

Chapitre 4 : Panorama des usages de l'loT

L'IoT en verticale

Les usages de l'internet des objets sont nombreux, et ils s'inscrivent dans une dynamique mondiale :

1



Gestion des villes

2



Industrie 4.0

3



Agriculture et Environnement

4



Automobile

5



Santé

6



Bâtiment recevant du public

7



IoT pour particulier

8



Retail

9



Transport, flotte et logistique

10



Sites sensibles et sécurité de l'Etat

Gestion des villes



La notion de « Smart city » va rapidement devenir une réalité pour l'ensemble des milieux urbains de la planète. Les villes vont accueillir des réseaux de communication extrêmement denses constitués d'une multitude de capteurs renvoyant des informations vers des technologies complexes comme l'intelligence artificielle ou encore le « deep learning ».

L'IoT doit permettre aux villes de répondre aux enjeux actuels et futures en matière de mobilité, d'environnement, de logement, de sécurité et de gestion des énergies afin d'offrir une meilleure qualité de vie aux citoyens et une économie plus pérenne.

Sécurité

Améliorer la sécurité des concitoyens par une analyse en temps réel de flux vidéo et audio grâce à l'intelligence artificielle.

Aider à la prévention et la gestion des désastres (départs de feux, inondations, activité sismique...).

Exemples de cas d'usage :

- Reconnaissance faciale en espaces publics
- Extincteurs connectés
- Détecteur de nuisances sonores

Trafic routier

Réguler le réseau de transport en fonction de l'état du trafic et de la qualité de l'air (ajuster la signalisation, restriction d'accès à certains véhicules...). A terme la collectivité sera capable d'être connectée en temps réel à chaque véhicule en circulation sur son espace public (vélo, bus, voitures, motos...).

Exemples de cas d'usage :

- Feux de circulations adaptatifs,
- Cartes dynamiques en abribus,
- Information voyageur
- Aide à l'exploitation

Réseaux de ressources

Identifier et prioriser les interventions sur les différents réseaux d'eau, d'électricité, de gaz, d'égouts... Adapter précisément la production d'énergie au besoin.

Exemples de cas d'usage :

- Détecteur de fuites et valves connectées
- Optimisation de la consommation des bâtiments publics

Mobilier urbain et infrastructures publiques

Répondre de manière personnalisée aux besoins des concitoyens par quartier en adaptant l'offre des services publics (gestion des déchets, parkings, crèches, bibliothèques, lieux de divertissement, hôpitaux...).

Exemples de cas d'usage :

- Poubelles connectées
- Arrosage intelligent
- Eclairage public

Gestion centralisée

Permettre aux pouvoirs publics de collecter, traiter et analyser les données croisées en un point central afin d'optimiser la gestion de la ville.

Exemples de cas d'usage :

- Plateforme IoT centrale reliée à tous les services publics

Technologies cibles

++

Cellulaire IoT (opéré)

+

Cellulaire IoT (privatif) Cellulaire mobile (opéré/privatif), LoRa (opéré/privatif), SigFox et Wize

Toutes ces solutions requièrent un déploiement important d'équipements dans toute la ville. Un maillage très fin en capteurs et une connectivité adaptée (fixe et mobile) seront indispensables pour alimenter les pouvoirs publics et leurs partenaires en données stratégiques. Les villes ne doivent pas négliger le risque de cyberattaques. La protection de leur système IoT doit être une priorité.

Industrie 4.0



L'industrie 4.0 ou l'IloT (Industrial Internet of Things) est annoncée comme le secteur de prédilection pour l'IoT B2B. Les progrès en matière de Big Data et les nouvelles capacités analytiques vont permettre de traiter d'importants volumes de données en temps réel. Les usines intelligentes, au cœur de l'industrie 4.0, seront équipées d'outils capables de communiquer entre eux et d'optimiser continuellement la chaîne d'approvisionnement et de production. Grâce à l'IoT, les industriels vont passer un nouveau cap en matière de digitalisation et d'automatisation. L'appareil productif de demain sera autoconfiguré, auto-optimisé et appuyé par des technologies comme l'intelligence artificielle ou le machine learning pour réaliser des tâches toujours plus complexes. Avec l'IloT, les industriels réaliseront des économies de coûts sans précédent tout en leur permettant d'améliorer la qualité de leurs biens et leurs services.

Maintenance

Capter les signaux faibles de l'appareil productif afin d'identifier des pannes effectives ou potentielles (alerte des dysfonctionnements, maintenance prédictive, gestion du stock de pièces de rechange).

Exemples de cas d'usage :

- Détection en temps réel de signes avant-coureur de défaillance pour minimiser l'immobilisation de la machine

Management centralisé

Gérer l'ensemble de l'appareil productif depuis un point unique afin d'éviter la dispersion de l'information entre les différents maillons de la chaîne de production et ainsi gagner en efficacité dans la prise de décision.

Exemples de cas d'usage :

- Activation automatique de l'éclairage et de la ventilation des différentes chaînes de production

Supply chain

Automatiser ou semi-automatiser différentes strates de la chaîne logistique comme l'approvisionnement, le stockage, la logistique interne et la distribution.

Exemples de cas d'usage :

- Etiquettes d'emplacement intérieur
- Traceur d'actifs

Robotique & cobotique

Faire gagner la chaîne de production en vitesse, en puissance et en précision.

Exemples de cas d'usage :

- Robot inventoriste
- Convoyeur autonome

Qualité produit

*Guider les opérateurs pour assurer qu'ils ont les bons gestes
Suivre la fabrication de chaque produit tout du long de la chaîne de production. Les données collectées permettront de vérifier en temps réel la conformité aux standards qualité.*

Exemples de cas d'usage :

- Autodiagnostic qualité de machine-outil
- Lunettes de réalité augmentée

Sûreté et sécurité des usines

Surveillance de sites industriels (température des machines, qualité de l'air ambiant...),

Alerter et optimiser la gestion des incidents (inondations, incendies, accidents du travail).

Exemples de cas d'usage :

- Wearables sur les employés pour surveiller leur état de santé ou limiter les risques
- Gants bionique

Technologies cibles	++	LoRa (opéré/privatif) et Cellulaire mobile (privatif)
	+	SigFox (opéré) et Cellulaire IoT (privatif)

Agriculture et environnement



L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture estime que près de 800 millions de personnes dans le monde restent chroniquement sous-alimentées. Selon l'institution le monde devra produire 70% de nourriture en plus d'ici 2050 pour pouvoir nourrir la future population mondiale. Si l'IoT peut doper la productivité des cultures et

des exploitations animales, l'ère des objets connectés doit aussi répondre à des enjeux écologiques et qualitatifs. Avec l'IoT, l'agriculture pourrait entamer sa une grande révolution numérique !

Préserver les ressources

Optimiser et automatiser l'approvisionnement, les stocks et l'utilisation des matières premières en croisant différentes données (prévisions météorologiques, état des sols et des cultures, évolution du cours des matières premières...)

Exemples de cas d'usage :

- Irrigation en fonction du besoin
- Traitement ultra localisé
- Détection automatique de rongeurs dans les stocks de céréales

Surveillance des sols & des cultures

Connaitre en temps réel l'état des sols et des cultures de façon ultra-détaillée et localisée (heat-map, rapports scientifiques...) grâce à des capteurs d'humidité, de température, de pression atmosphérique...

Adapter les traitements à partir des données pour améliorer la qualité et le rendement (irrigation, projections des engrais...)

Exemples de cas d'usage :

- Contrôle du flux de sève
- Contrôle d'humidité du compost

Prévisions environnementales

Analyser en temps réel l'état des conditions climatiques (humidité, ensoleillement, pluviométrie) et y associer des actions automatisées.

Combiner les données climatiques historiques aux actuelles pour générer, à l'aide de l'intelligence artificielle, des prévisions propres aux parcelles de l'agriculteur.

Exemples de cas d'usage :

- Prévention des glissements de terrain
- Détection de tremblement de terre

Surveillance et gestion de l'animalier

Capteurs capables de renseigner l'agriculteur sur l'état de son cheptel, sa santé et prédire les besoins nutritionnels ou sanitaires de chaque animal.

Exemples de cas d'usage :

- Drone agricole pour la surveillance de pâturage

Management centralisé

Pouvoir activer des outils automatisés depuis un point unique (valves d'irrigations, drones, tracteurs autonomes...).

Projeter les rendements de l'exploitation et leur impact financier en croisant l'ensemble des données de l'exploitation (plateforme IoT).

Exemples de cas d'usage :

- Alarme de clôture centralisée
- Surveillance de gestation

Vols et dégradations

Lutter contre les actes malveillants, notamment le vol, de matériel, d'animaux et de cultures.

Exemples de cas d'usage :

- Traceur radio intégré d'origine au matériel

Technologies cibles ++ LoRa (opéré) et SigFox (opéré),
 + Cellulaire IoT (opéré)

Automobile



Du côté du marché grand public, les voitures connectées apparaissent comme l'un des moteurs de l'industrie IoT. On estime à 15 millions le nombre de voitures connectées en circulation sur les routes françaises d'ici 2023¹⁸. Les nouveaux modèles vont être capables de se connecter via le réseau internet, aux infrastructures et aux véhicules qui les entourent. Des capteurs intégrés à différentes parties du véhicule comme le moteur, les freins ou les pneus offrent la possibilité de générer un diagnostic de son véhicule ou encore se laisser conduire par sa voiture autonome.

Véhicules connectés

Interconnecter les véhicules à l'ensemble de leur environnement (V2X) via la superposition de plusieurs types de communication : Véhicule à véhicule (V2V), Véhicule et infrastructures (V2I), Véhicule à Piétons (V2P), Véhicule et Network (V2N)

Sécurité des passagers

Améliorer la sécurité des conducteurs et des usagers de la route à l'aide de systèmes de sécurité passifs (la voiture averti le conducteur) ou actifs (la voiture agit à la place du conducteur).

Entretien et assurance du véhicule

L'ensemble des données du véhicules (itinéraires, style de conduite, état des pièces...) pourront être partagées aux assureurs, garagistes et fabricants du véhicule.

Gestion de flotte

Permettre aux opérateurs de véhicule de tourisme d'optimiser la gestion de leur flotte : connaître en temps réel la localisation des véhicules, leur état, le comportement du conducteur...

Confort du voyageur

Accéder à un assistant vocal compatible avec toutes les fonctions du véhicule, au paiement par véhicule (stationnement, carburant...), et d'autres solutions intégrées.

Véhicules autonomes :

Remplacer en partie ou complètement le rôle du conducteur. Le véhicule connecté appuyé par une myriade de capteurs (Lidar, GPS, vidéo HD...) s'adapte à son environnement.

Technologies cibles ++

Cellulaire IoT (opéré) et Cellulaire mobile (opéré/privatif)

Exemples de cas d'usage :

- V2I aide à fluidifier la circulation en interagissant avec les feux de circulation
- V2P aide un piéton à trouver un véhicule partagé en circulation, optimise les passages piétons
- V2N permet de collecter des données au-delà du champ de vision grâce

Exemples de cas d'usage :

- Actif : freinage en cas d'obstacle, adaptation de la vitesse à la signalisation
- Passif : signalement d'un accident plusieurs centaines de mètres en avance

Exemples de cas d'usage :

- Personnalisation des contrats d'assurance
- Prise de rendez-vous automatique pour le contrôle technique
- Réalisation quasi-automatique des constats

Exemples de cas d'usage :

- Balises d'emplacement de flotte
- Optimisation de tournée

Exemples de cas d'usage :

- Paiement du carburant directement depuis le tableau de contrôle du véhicule

Exemples de cas d'usage :

- Navettes autonomes sur une emprise spécifique

L'IoT pourrait répondre aux enjeux de demain comme le décongestionnement des centres villes, une baisse des émissions de CO2 et favoriser le partage des moyens de transport.

¹⁸ Source : Statista

Santé



A l'heure où la qualité des établissements de santé français est pointée du doigt, où la population vieillit et où le nombre de maladies chroniques est en hausse, l'IoMT (Internet of Medical Things) pourrait bien être l'une des clés de l'amélioration des services de santé. Un réseau d'appareils médicaux interconnectés renforce le potentiel des infrastructures et soulage les équipes pour une meilleure prise en compte du patient !

D'une meilleure gestion de l'accueil, aux opérations réalisées à distance, en passant par l'automatisation des tâches administratives, l'IoT transforme la médecine de demain !

Soins à distance

Offrir au patient des solutions d'autodiagnostic de son état de santé grâce aux objets connectés (bracelet, patch cutané, implants) pour prévenir des potentiels risques de maladies ou de rechute et surveiller l'administration des traitements.

Robotisation

Assister les médecins spécialistes dans les opérations délicates et les rendre possibles à distance.

Confier aux robots des tâches de routine afin de libérer du temps pour le personnel.

Gestion du bâtiment et du matériel

Optimiser la gestion du bâtiment (températures, humidité, régulation de l'air, gestion des accès, mesures de sécurité...). Equiper les appareils en capteurs pour permettre la maintenance prédictive.

Optimisation du workflow

Agréger, classer et analyser les données des patients, du personnel et du bâtiment afin d'optimiser l'efficacité de traitement des patients. Une plateforme IoT centralisée accessible depuis n'importe quel terminal (mobile, tablette, borne, PC...) assiste le personnel dans ses missions.

Expérience du patient

Optimiser la prise en charge des patients et leur offrir un accueil personnalisé.

Gestion des ressources

Optimiser la gestion des ressources et garantir un approvisionnement suffisant.

Exemples de cas d'usage :

- Inhalateur connecté
- Prise de constantes à domicile
- Distributeur automatique de médicament à domicile

Exemples de cas d'usage :

- Bloc opératoire connecté en 5G
- Robot livreur de soins et repas (HOSPI)
- Robot stérilisateur des sols

Exemples de cas d'usage :

- Surveillance et ajustement automatique de la qualité de l'air
- Localiser en temps réel les instruments médicaux et chirurgicaux
- Alertes sur l'état de propreté des espaces et des appareils médicaux

Exemples de cas d'usage :

- Agenda des médecins automatisé,
- Fiche patient dynamique (état physique en temps réel, localisation, historique...)
- Statut d'occupation des chambres en temps réel

Exemples de cas d'usage :

- Classement automatique des ordres de passage aux urgences en fonction de l'état du patient
- Calcul précis du temps de prise en charge

Exemples de cas d'usage :

- Automatisation de la chaîne d'approvisionnement en médicaments en fonction des stocks restants

Technologies cibles	++	Cellulaire IoT (opéré)
	+	Cellulaire mobile (opéré), LoRa (opéré), SigFox (opéré) et WiFi

La diffusion de l'loMT reste toutefois soumise au temps de certification des équipements IoT par les organismes compétents

Bâtiments recevant du public



L'utilisation des espaces de travail et la maintenance des bâtiments tiers a déjà entamé sa transformation IoT. Les études démontrent même que les entreprises sont prêtes à payer une surprime pour bénéficier d'un bâtiment connecté et intelligent. La promesse d'un « smart building » est d'optimiser l'exploitation du bâtiment et le confort de ses habitants via la collecte de volumes

de données importants et leur analyse. Associé à des technologies comme l'IA les données permettront de réduire les coûts tout en améliorant le confort des utilisateurs. Grâce à l'IoT, ils peuvent interagir avec leur environnement et bénéficier de services personnalisés.

Sécurité

Installer des capteurs intelligents sans fil (fumée, gaz, qualité de l'air, ouverture de portes, alarmes anti-intrusions...) est simple, facile d'entretien et plus économique que les systèmes conventionnels. Prévenir de l'état d'usure des infrastructures (ascenseurs, fondations, machineries...) Filtrer automatiquement les accès via l'exploitation d'un système de vidéosurveillance intelligent

Expérience des usagers

Permettre aux employés, clients ou visiteurs d'interagir avec leur environnement (lumière, température...) et bénéficier de services personnalisés

Optimiser les espaces

Identifier les habitudes d'utilisation de l'espace pour ensuite en adapter la configuration (en amont d'une restructuration), le niveau d'équipement et l'entretien.

Gestion des ressources

Relever à distance les niveaux de consommation et gérer les réseaux de ressources depuis une même plateforme. Détecter et alerter en temps réel les sources effectives de perte d'énergie (fuites, éclairages inutiles...) et optimiser la consommation du bâtiment

Construction

Localiser le matériel de chantier volé. Intégrer aux structures de l'édifice des capteurs LPWAN (bétons, isolation...) pour contrôler l'état après travaux.

Exemples de cas d'usage :

- Visibilité directe sur l'état de chaque capteur (batterie, dysfonctionnement...) et optimiser ainsi leur maintenance.
- Portiques d'entrée reliés à un système de vidéosurveillance lui-même couplé à une solution de reconnaissance faciale

Exemples de cas d'usage :

- Personnalisation des repas
- Guidage vers une place de parking disponible

Exemples de cas d'usage :

- Exploiter les données issues des ascenseurs pour minimiser le temps d'attente et leur usage pour préserver le matériel
- Détection automatique de l'état de propreté des toilettes

Exemples de cas d'usage :

- Calculs du volume de déchets par étage
- Alignement automatique des volets en fonction du soleil pour optimiser la consommation de la climatisation

Exemples de cas d'usage :

- En cas de vol pouvoir partager la localisation de l'actif aux autorités compétentes
- Grâce à la faible consommation en énergie des capteurs installés directement dans le béton les infrastructures peuvent être surveillées pendant plusieurs années

Technologies	++	<i>LoRa (opéré) et SigFox (opéré),</i>
cibles	+	<i>LoRa (privatif), WiFi et Zigbee</i>

Les bâtiments ultra-connectés n'échappent pas aux risques sécuritaires. Les gestionnaires des infrastructures doivent donc s'équiper en solutions de sécurité adaptées. Il est clé pour les occupants et gestionnaires des immeubles d'attirer les talents capables d'analyser et paramétrer le système IoT. Le partage des données entre le propriétaire, l'occupant et tout autre prestataire IoT doit être clairement encadré pour favoriser l'émergence de nouveaux services et leur optimisation.

IoT pour particuliers



Que l'on habite dans un appartement ou une maison, les solutions IoT ont déjà commencé à envahir nos lieux d'habitation, à commencer par l'enceinte connectée. Ecoulé à plus de 146 millions d'unités dans le monde en 2019 (+70% Y-on-Y), elle représente l'appétit des industriels à développer des solutions connectées pour l'habitat en commençant par recueillir des informations précieuses sur le comportement du consommateur. Demain, les enceintes connectées, seront l'interface principale qui nous permettra de communiquer avec les objets connectés du reste de la maison. Les possibilités sont quasi-infinies, la « smart home » peut automatiser les tâches du quotidien, protéger l'habitat ou encore permettre de réaliser des économies en optimisant sa consommation énergétique.

Sécurité

Maximiser la sécurité de son lieu de vie grâce à des systèmes d'alarme, de vidéosurveillance et de dissuasion intelligents accessibles depuis n'importe quel appareil relié à internet.

Contrôler l'accès à distance à son domicile après identification.

Gestion de l'énergie

Adapter la consommation d'énergie au juste besoin de l'habitant.

Optimiser la gestion des différentes sources d'énergies (solaire, éolien, géothermie...).

Santé

Etudier l'activité des résidents pour réaliser des diagnostics santé, prévenir d'éventuels accidents et suggérer des changements d'habitudes.

Gérer automatiquement la qualité de l'environnement (purification de l'air, niveau d'humidité, poussières, bactéries).

Surveiller l'état du bâtiment (dégâts des eaux, moisissures, craquement du béton).

Bien être et confort

Personnaliser l'ambiance des espaces (luminosité, température...) par commande vocale ou via une application.

Connecter son mobilier intelligent à un assistant vocal (électroménager, literie...)

Gestion des espaces verts

« Wearables »

Interagir avec d'autres appareils connectés (smartphone, maison connectée, systèmes audio...) directement à partir d'objets, d'accessoires ou de vêtement

Exemples de cas d'usage :

- Verrou intelligent qui permet d'ouvrir la maison à distance (facteur,

Exemples de cas d'usage :

- Compteur intelligent

Exemples de cas d'usage :

- Pacemaker connecté
- Analyse de la qualité de l'air intérieur

Exemples de cas d'usage :

- Retrouver un objet perdu via une simple commande vocale
- Matelas qui s'adaptent aux mauvaises postures pendant le sommeil
- Tondeuse à gazon connectés

Exemples de cas d'usage :

- Tondeuse à gazon connectés
- Systèmes d'arrosage ultra précis

Technologies ++
cibles

Cellulaire mobile (opéré), Cellulaire IoT (opéré) et WiFi

Les récentes affaires de piratages d'objets connectés chez les particuliers (caméra, ouvertures, enceintes) ont renforcé la méfiance du consommateur. Si la sécurité est considérée comme l'enjeu prioritaire par les acteurs du secteur, l'interopérabilité est sans aucun doute le deuxième grand défi du marché des maisons connectées. Pour le particulier, les différentes solutions IoT doivent pouvoir être facilement configurées et utilisées. Il en est donc de la responsabilité des différents acteurs de la domotique de s'accorder sur des protocoles communs, ou du moins compatibles, pour ne pas freiner la croissance du marché.

Retail



Les distributeurs sont encore au début de la phase d'adoption de l'IoT. L'industrie qui a pendant longtemps perçu l'IoT comme un gadget onéreux y voit aujourd'hui le potentiel d'améliorer la relation avec ses clients et d'optimiser la gestion de ses ressources. Si les consommateurs ont tendance à s'orienter de plus en plus vers l'e-commerce, les points de vente physiques misent sur l'IoT pour

transformer l'expérience client et créer des synergies entre le monde de l'internet et les points de vente traditionnels !

Sécurité

Lutter contre les actes de vol en rayon ou zone de stockage par l'utilisation de la vidéosurveillance combinée à l'intelligence artificielle.

Géolocaliser les objets/actifs volés en dehors du lieu de vente (chariots, paniers, articles...).

Gestion de l'énergie

Centraliser la gestion des différentes sources d'énergies sur un même outil. Adapter la consommation d'énergie à l'affluence et aux prix du marché.

Prévenir et localiser les dysfonctionnements pour en informer les opérateurs énergétiques.

Stationnement

Obtenir des informations sur l'historique et l'actuelle utilisation du parking.

Proposer et gérer de nouveaux services (guidage personnalisé vers place libre, bornes électriques...).

Adapter l'accueil en magasin en fonction de l'affluence sur le parking (personnel, rayonnage, promotions...)

Expérience client personnalisée

Proposer une expérience sans couture et personnalisée grâce à l'IA, le deep learning et la reconnaissance faciale.

Supply chain

Automatiser ou semi-automatiser la gestion de l'approvisionnement, optimiser le stockage en fonction de l'espace disponible et de la demande.

Connecter le mobilier de vente pour connaître en temps réel l'état des stocks (DLC, manque de références...) et se renseigner sur les habitudes du consommateur.

Exemple de cas d'usage :

- Balise LPWAN attachée aux objets et actifs de valeurs

Exemple de cas d'usage :

- Contrôle centralisé de la consommation des équipements frigorifiques
- Pilotage de l'éclairage en fonction de l'affluence dans certaines zones du magasin

Exemple de cas d'usage :

- Proposer un rechargement des véhicules électriques gratuits passé un montant d'achat
- Augmenter le nombre de caisses ouvertes en fonction du nom
- Louer le parking pendant les périodes de fermeture du lieu de vente

Exemple de cas d'usage :

- Mettre en évidence des offres promotionnelle personnalisées grâce à une analyse vidéo du comportement du consommateur.
- Modification de l'éclairage des produits au passage du consommateur

Exemple de cas d'usage :

- Etiquetage automatique des produits en rayon
- Chariot permettant de scanner automatiquement les produits
- Pouvoir informer le client sur la traçabilité complète des produits (blockchain)

Développer les canaux de distribution
Instaurer des partenariats pour proposer de nouveaux services aux clients.

Exemple de cas d'usage :

- Passer une commande depuis son réfrigérateur
- « Drive » connecté aux voitures avec paiement automatisé

Technologies cibles ++

Cellulaire mobile (opéré), Cellulaire IoT (opéré) et WiFi

De nombreux services IoT vont nécessiter une analyse détaillée des comportements du consommateur sur le lieu de vente.

Transport, flotte et logistique



L'IoT va permettre de transformer l'industrie de la logistique et du transport ! L'IoT doit permettre un suivi et une optimisation des processus du lieu de stockage, à la livraison, en passant par la préparation de la commande. L'un des enjeux de la verticale est sa connectivité. L'industrie fait appel à une multitude de technologies en fonction des usages. Par exemple, pour le suivi

des containers en pleine mer, le satellite est nécessaire, pour le transport routier c'est le cellulaire qui est privilégié, pour les espaces de stockage un réseau bas débit type LPWAN et pour les objets connectés le RFID ou le Mesh. Enfin, les acteurs du transport et de la logistique sont d'autant plus encouragés à adopter les services IoT avec un consommateur final qui souhaite connaître précisément l'origine de ses produits et l'impact sur la planète.

Gestion de flotte

Permettre aux opérateurs d'optimiser la gestion de leur flotte : connaître en temps réel la localisation des véhicules, l'état du moyen de transport, le comportement du conducteur.

Suivi des marchandises

Suivre en temps réel l'état et le parcours précis des marchandises transportées ou stockées afin d'optimiser la qualité du produit, sa traçabilité et en certifier la bonne transaction. Contrôler et ajuster les conditions de transport des marchandises à distance (température, taux humidité...).

Sécurité

Localiser les véhicules volés grâce aux capteurs LPWAN.

Inventaire & stockage

Automatiser ou semi-automatiser différentes strates de la chaîne logistique comme l'approvisionnement, le stockage et la préparation des commandes en s'appuyant sur des robots et corobots

Certifier les transactions

Combiner l'IoT à la blockchain pour enregistrer tous les détails d'une transaction (du passage de la commande à la livraison finale) et rendre l'information disponible à chaque partie prenante.

Véhicules autonomes

Gagner en efficacité en investissant dans des modes de transports autonomes comme les camions ou encore les drones

Exemple de cas d'usage :

- Surveiller le niveau de pression des pneus de toute la flotte via une plateforme centralisée.
- Collecter des informations sur le type de conduite des chauffeurs et proposer des formations en conséquence
- Maintenance prédictive des véhicules

Exemple de cas d'usage :

- Optimisation de tournée
- Gestion de l'appairage camion-remorque

Exemple de cas d'usage :

- Traceur de flotte

Exemple de cas d'usage :

- Robots transporteurs
- Réaliser un inventaire en direct

Exemple de cas d'usage :

- Traçage complet du parcours de médicaments

Exemple de cas d'usage :

- Livraison autonome de bagages aux avions

Technologies cibles	++	<i>LoRa (opéré) et SigFox (opéré)</i>
	+	<i>Cellulaire IoT (opéré), Cellulaire mobile (privatif) et LoRa (privatif)</i>

L'un des principaux enjeux du secteur de la logistique tient dans le grand nombre d'acteurs impliqués sur une même chaîne logistique. Le potentiel de l'IoT sera pleinement exploité si le suivi des moyens de transport et de leurs cargaisons s'effectue sans couture du lieu de stockage au lieu de livraison finale.

Sites sensibles et sécurité de l'Etat



Centrales nucléaires, bases militaires, ministères, l'IoT va permettre d'optimiser la surveillance et la protection de ces sites sensibles. Les hommes et femmes chargés de la protection de ces sites et de la population vont pouvoir gagner en efficacité opérationnelle en s'équipant d'outils connectés. Le pompier plongé dans un espace enfumé bénéficiera d'un affichage de son environnement sur sa

visière grâce à la réalité augmentée. De son côté les forces de l'ordre seront avertis en direct d'agressions grâce au système de vidéosurveillance couplé à l'intelligence artificielle.

Défense militaire

Améliorer la précision et limiter les pertes humaines lors d'actions offensives par l'utilisation d'armes contrôlées à distance.

*Gagner en détail et discrétion en termes de renseignement
Multiplier les aptitudes du combattant et des véhicules qu'ils utilisent*

Optimiser via l'automatisation ou la semi-automatisation l'approvisionnement, le stockage, et les flux de distribution.

Sécurité civile

Anticiper les incidents (incendies, violences) grâce à une connexion à différents capteurs

Equiper les forces de police et pompiers d'outils décuplant leur capacité

Prévention de catastrophes naturelles ou humaines

Surveiller en temps réel l'état des conditions environnementales (physique, chimique, biologique) et prédire les risques.

Déclencher automatiquement des mesures de prévention de la population et/ou conduire des plans de gestion de crise.

Protection des sites sensibles

*Surveillance en temps réel de l'état des sites sensibles
Alerter et optimiser la gestion des incidents (intrusions, incendies...)*

Simuler l'impact de potentielles menaces/dysfonctionnements

Equiper les sites en appareils connectés et robots pour gagner en précision et limiter les risques pour l'homme

Technologies cibles

++

Cellulaire IoT (privatif) et Cellulaire mobile (privatif)

+

LoRa (opéré/privatif), SigFox (opéré) et WiFi

Exemple de cas d'usage :

- Drones militaires

Exemple de cas d'usage :

- Lunettes de réalité augmentée en intervention
- Analyse de la dangerosité de l'air respiré en intervention

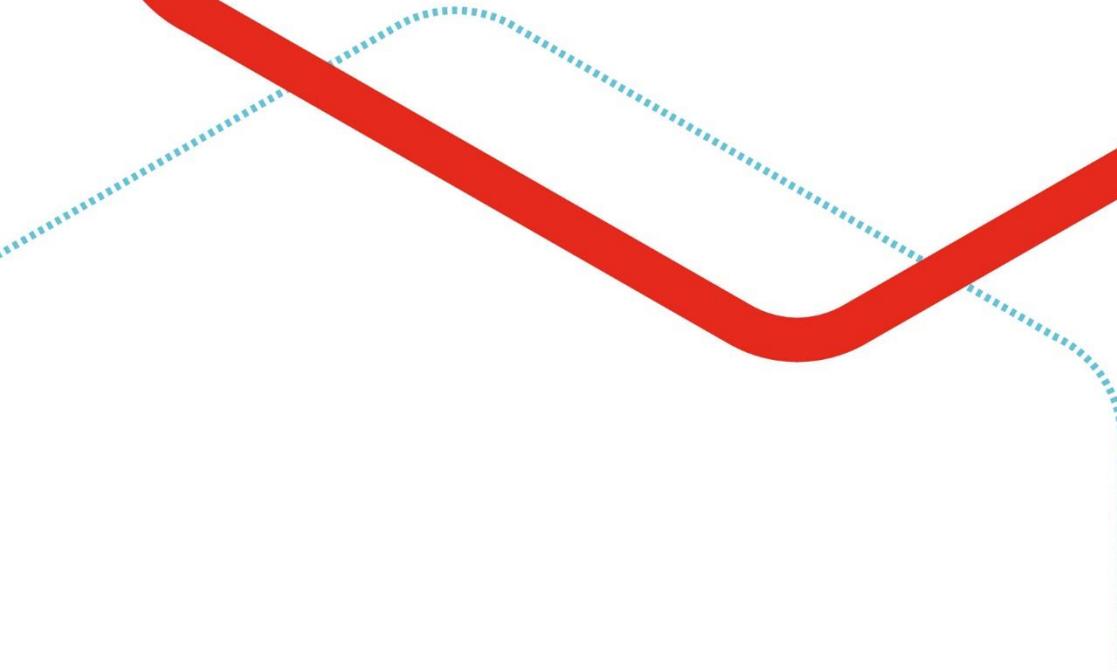
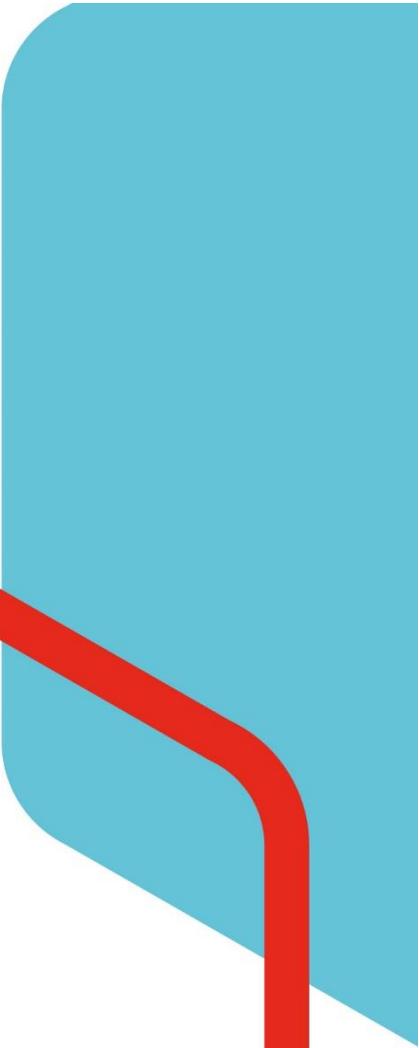
Exemple de cas d'usage :

- Détection de feu de forêt
- Détection de fuite chimique

Exemple de cas d'usage :

- Stabilité de l'infrastructure
- Contrôle de l'état de la production

L'enjeu pour les autorités publiques réside dans leurs capacités à rendre leurs systèmes IoT le plus sécurisés possibles. Pour cela, elles doivent s'entourer des meilleurs talents qui sauront lutter contre les tentatives d'intrusions et garder une longueur d'avance technologique en matière de protection.



Chapitre 5 : Freins au développement du marché et recommandations

Malgré une offre abondante, la demande reste aujourd’hui relativement faible

Le marché de l’IoT se caractérise par un nombre important d’acteurs qui proposent des produits/solutions IoT d’une part, et une demande encore poussive d’autre part. Si certains marchés comme celui de la ville intelligente, de l’immobilier professionnel et de l’industrie 4.0 semblent atteindre une certaine maturité, de nombreux freins retardent le décollage de la demande.

Figure 34 : Offre vs demande



Le marché de l’IoT est voué à une croissance importante, y compris en France en zone peu dense. Mais de nombreux freins restent à lever pour que ces perspectives de croissance se concrétisent et que la France puisse compter parmi les leaders mondiaux.

A- Un marché complexe et non mature

La complexité du marché provient d’un nombre considérable d’acteurs avec des parti pris technologiques différents. Malgré quelques initiatives sur les dix dernières années, les technologies IoT actuelles, et les nouvelles qui continuent d’être imaginées (e.g. 5G NR light par exemple), ne s’alignent pas dans des processus de standardisation. De nombreuses initiatives sont lancées au travers de regroupements d’acteurs privés (Intel’s Open Interconnect Consortium, ARM et sa solution open source Mbed) – mais elles n’ont pas résolu ce problème.

Les pouvoirs publics cherchent également à standardiser le marché. Au niveau européen, la commission a considéré l’IoT comme l’une de ses cinq priorités en matière de régulation des technologies de l’information et de la communication (cf. « Rolling plan for ict standardisation 2018 »). L’une des conséquences de ce manque de standardisation est la difficulté à faire fonctionner les objets et les réseaux connectés entre eux. Ce problème d’interopérabilité entre les

solutions et les produits des acteurs de la chaîne de valeur est sans doute le principal frein à la libération de la croissance.

Du côté de la demande, les acteurs des différentes verticales ont encore du mal à exprimer leurs besoins exacts en IoT. Les entreprises et le grand public n'ont pas encore très bien saisi tous les cas d'usages envisageables et les bénéfices qui leur seraient associés. Bien souvent, les particuliers achètent une enceinte connectée sans en utiliser les fonctions « smart home » (contrôle à distance des ouvertures, du chauffage, des luminaires...). Les incertitudes sur les évolutions technologiques et le morcellement de la production des composants selon différentes technologies impliquent que les commandes sont à volumes limités. Les composants sont ainsi produits moins efficacement et se trouvent moins économiques ou de moindre qualité. Ce phénomène vient également freiner le développement du marché.

B- Une sous-estimation de la transformation induite par l'IoT

Les projets IoT souffrent souvent d'un manque de structuration globale. Vus comme des projets techniques, ils ne sont pas considérés comme un facteur de transformation profond d'une entreprise. Ajouter des capteurs à ses infrastructures sans y associer le bon écosystème et les bons process ne permet pas d'embrasser pleinement le potentiel de l'IoT. Pour réussir leur transformation, l'ensemble des décideurs doivent s'impliquer et percevoir l'IoT comme un outil impactant l'ensemble du modèle économique. Il est essentiel que chaque département de l'entreprise prenne le temps de réfléchir aux usages et conséquences de l'IoT dans son périmètre de responsabilité. Enfin, les chargés de projets IoT doivent prendre le temps nécessaire et s'entourer de partenaires expérimentés pour aboutir à une bonne conception de leurs projets.

C- Des difficultés à industrialiser non anticipées

De façon imagée, les directions peuvent parfois penser qu'un POC (Proof of Concept) IoT peut se déployer à l'échelle de toute une entreprise de manière simple et quasi-automatique. En réalité, un nombre important de projets IoT en reste au stade de POC (30% selon une récente étude Microsoft).

La première raison est d'ordre financière. Les prévisions de coûts d'une mise à l'échelle sont souvent sous-évaluées. Une étude minutieuse en amont du lancement d'un POC permet d'anticiper et de mesurer précisément les volumes et les coûts en cas d'une mise à l'échelle.

Dans un deuxième temps, les directions disent manquer de clarté sur la réelle valeur ajoutée et le retour sur investissement de l'industrialisation de leur POC IoT. Souvent les solutions IOT testées viennent en remplacement de solutions existantes, éprouvées et donnant satisfaction. Le passage à un nouveau mode de fonctionnement avec une nouvelle technologie comporte toujours un risque et en comparaison les gains de la transformation paraissent souvent faibles ou incertains.

Enfin, il est difficile pour les entreprises de s'entourer des talents compétents en IoT et de les fidéliser. Le niveau de la demande en ingénieurs IoT reste très supérieure à celui de l'offre. Les équipes déjà présentes en interne doivent aussi être sensibilisées et formées aux nouvelles technologies.

La clé de la réussite d'un passage d'un projet test à son industrialisation repose essentiellement dans la qualité de la conception du projet en amont du POC. Les besoins de l'entreprise et le business plan associé doivent être clairement définis. Cela passe notamment par une évaluation précise du ROI réalisable, l'anticipation des coûts au long terme, une mesure précise des niveaux de risque et chercher à sécuriser ces derniers. Le POC doit être considéré comme un moyen de valider un projet IoT murement réfléchi. Il est d'ailleurs à souligner que les causes d'échecs sont très rarement liées au fonctionnement des technologies choisies (les technologies sont aujourd'hui très matures et il existe systématiquement une technologie donnant satisfaction).

D- Un manque de couverture qui pénalise les pionniers

Sans une bonne couverture, le transfert de la donnée brute à son outil d'analyse est impossible ! L'un des principaux enjeux de l'IoT réside dans la capacité à couvrir les espaces extérieurs comme intérieurs. (Cf. Chapitre 4 sur l'exemple du département de la Loire). Outre la complexité technique qui est relative, des investissements sont nécessaires pour déployer la connectivité. Les projets sont challengés sur la rentabilité de leur business model notamment en zones peu denses. Malgré des efforts locaux et sur certaines technologies, la couverture du territoire français est inégale.

Si les récents investissements ont été principalement réalisés dans un but de couvrir les zones extérieures, l'IoT présente surtout des cas d'usages nécessitant une couverture des espaces intérieurs. Ces freins au déploiement de l'IoT proviennent également du manque de standardisation des solutions techniques.

E- Une sécurité à maîtriser

Face à l'explosion du nombre de piratages, la lutte contre les cyberattaques est devenue une priorité des entreprises et des gouvernements. Les données représentent un actif stratégique de première importance pour les entreprises et les institutions. Il en va de la stabilité économique de tout un écosystème. Les cyberattaques peuvent paralyser une ligne de production, divulguer des informations confidentielles, faire perdre la confiance des consommateurs. On le sait, l'IoT est destiné à être l'un des principaux responsables de l'explosion des volumes de data. Il paraît donc naturel que les décideurs s'interrogent sur la fiabilité des systèmes IoT du point de vue de la sécurité. De nombreuses sociétés spécialisées en IoT proposent des solutions robustes pour lutter contre les cyberattaques. Les institutions publiques travaillent également sur le sujet. Dans l'objectif

de devenir une puissance économique de la data, l'Union Européenne souhaiterait créer¹⁹ un espace numérique ultra sécurisé. Cet espace agglomérerait notamment les données sensibles des États membres, des entreprises et les données privées des concitoyens.

Recommandations

- Bien qualifier le besoin : réaliser l'analyse fonctionnelle détaillée avec les utilisateurs finaux
- Définir la solution d'accès radio adaptée au besoin et au budget : définir la part entre service commercial et solution dédiée (le cas échéant vérifier la disponibilité du service)
- Définir l'architecture du système d'information (SI), la remontée de donnée et son traitement
- Mettre en place une solution de stockage des données qui respecte les attentes en matière de sécurité, confidentialité et accessibilité

¹⁹ Source : https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-european-strategy-data-19feb2020_en.pdf

Conclusion

Le marché mondial de l'Internet des Objets évolue fortement, passant d'une logique d'adoption de la technologie à celle de sa propagation. Malgré cela, le marché de l'IoT est aujourd'hui **asymétrique**, avec d'un côté une offre abondante et de l'autre une faible demande.

Cette dynamique mondiale **impacterait l'ensemble des domaines de l'économie française**, depuis la gestion des villes jusqu'au quotidien des citoyens en passant par l'industrie 4.0 ou encore l'agriculture connectée. Les exemples présentés permettent de se rendre compte à la fois du foisonnement des idées et des projets autour de l'IoT mais aussi de la puissance de ces technologies et des (r)évolutions importantes qu'elle va permettre dans certaines industries.

Le marché de l'IoT continuera de croître (jusqu'à 1 500 milliards d'euros dans le monde d'ici à 2030 - porté par une migration de la valeur du hardware vers le software), mais de nombreux freins pèsent encore sur son développement. En effet, il n'a pas **encore atteint sa maturité**. Les couvertures radio extérieures limitées et la nécessité de déployer les solutions en intérieur, les **problématiques de sécurité** et le faible accompagnement des acteurs dans leur **digitalisation** fragilisent de nombreux projets et masquent de nombreuses opportunités.

La bataille technologique n'est pas nécessairement celle que l'on perçoit de prime abord (Sigfox vs Lora vs NB-IoT et LTE-m) car ces technologies fonctionnent et présentent chacune des avantages selon les solutions à mettre en place. Le dilemme se place plutôt entre **les réseaux à large portée** et **les réseaux à portée locale** (souvent des réseaux privés) – cf. Chapitre 3-D.

Et finalement, le marché attendra-t-il l'arrivée des fonctionnalités de la 5G orientées vers l'IoT (espérées vers 2025) et surtout du Mesh²⁰ 5G/IoT vers 2030 (cf. chapitre 3-A) pour enfin converger technologiquement et réaliser la révolution industrielle promise ?

²⁰ La technologie « Mesh » permettrait d'optimiser la puissance des signaux (donc la consommation électrique des modems) lorsqu'il existe une densité importante d'objets connectés

Remerciements

Ce livre blanc s'appuie sur une étude confiée aux cabinets PMP et LD, réalisée en 2019

Nous remercions les entités qui ont contribué à cette étude en répondant aux sollicitations pour des entretiens :

- PMP conseil & LD expertise
- L'ANFR
- Wi6labs
- Hager
- Airbus
- Cellnex
- Alliance Wize
- Objenious
- Qualcomm
- La BEI
- CapTronic
- Microsoft
- Transatel
- Huawei
- Arteria
- L'Avicca
- Le SMO Val de Loire Numérique
- Vodafone
- Sierra Wireless
- Lacroix

Lexique

3GPP ou 3rd Generation Partnership Project (3GPP) : un organisme de standardisation en télécommunications chargées de définir les standards des réseaux mobiles.

AP : bornes Wi-Fi, (Access Point)

Beamforming : Technique qui permet de mobiliser plusieurs antennes pour émettre un même signal et l'orienter directement vers l'utilisateur. L'utilisateur reçoit ainsi plusieurs copies du même signal ce qui a pour effet d'optimiser les performances en matière de débit et de portée. A noter que le Beamforming permet aussi de réduire la consommation énergétique de l'antenne.

BTS : « base transceiver station » (en français, station de transmission de base ou station émettrice réceptrice de base) ; un des éléments de base du système cellulaire de téléphonie mobile, aussi appelé antenne relais.

Certification HQE : datant de 2004, il s'agit d'un concept environnemental français visant à la réduction des impacts environnementaux de la construction ou rénovation de bâtiments. La certification « NF Ouvrage Démarche HQE® » est délivrée par l'AFNOR (Association française de normalisation) aux bâtiments remplissant les critères. La certification cible les économies d'énergie et incite les bailleurs à mettre en œuvre des vitrages à forte isolation thermique. Ces vitrages dégradent la pénétration des signaux radioélectriques à l'intérieur des bâtiments.

Connectivité : désigne la capacité d'un objet/personne à offrir des connexions avec une autre personne d'autres objet/personne.

Couverture radio (réseaux sans fil) : zone à l'intérieur de laquelle des personnes/objets peuvent communiquer.

Deep indoor : Un opérateur doit tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau. On distingue pour cela quatre services principaux dont le service « Indoor » qui permet le bon déroulement des communications à l'intérieur des bâtiments. Cette catégorie de service se subdivise encore en deux : le « Light Indoor » lorsque l'utilisateur se trouve juste derrière la façade d'un bâtiment et le « Deep Indoor » lorsqu'il se trouve plus à l'intérieur. On considère qu'il faut tenir compte de 10 [dB] d'atténuation supplémentaire pour le « Light Indoor » et de 20 [dB] pour Deep Indoor à 900 [MHz]. Le service « Outdoor » indique les conditions nécessaires pour le bon déroulement d'une communication en extérieur.

Emprises spécifiques : bâtiments, complexe ou zone fermée

Frequency-division duplexing (FDD) : est une méthode de duplexage dans le domaine des télécommunications sans fil et sur certains réseaux câblés. Dans ce schéma de communication, l'émission et la réception des données se font simultanément sur deux bandes de fréquence différentes ; autrement dit, la fréquence de la porteuse du signal est différente selon le sens de transmission : montant ou descendant.

IGH (Immeuble Grande Hauteur) : l'appartenance d'un immeuble à la catégorie IGH dépend de sa hauteur. Celle-ci est mesurée du niveau du sol au plancher du dernier étage. Concernant les immeubles d'habitation, est IGH tout bâtiment de plus de 50 m de haut. Pour tous les autres immeubles la hauteur référentielle sera de 28 m.

Internet : réseau informatique mondial, accessible à tous.

IOT : internet des objets (Internet of Things). L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) donne une définition assez large de l'Internet des objets : « une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution ».

Light indoor : voir « Deep indoor »

M2M : Service de communication d'objet à objet ciblé au domaine industriel

Marché de la couverture radio/ réseaux sans fil spécifique : ensemble des acteurs et des chantiers de réalisation de projet de couverture réseaux sans fil spécifique.

Modulation OFDMA : Orthogonal Frequency-Division Multiple Access, modulation qui marie les multiplexages FDMA et TDMA

Objets connectés : D'après l'UIT (Union internationale des Télécommunications), tout objet qui peut se connecter à un réseau ouvert sur Internet est potentiellement un objet connecté.

Ondes millimétriques : ondes radioélectriques couvrant les fréquences de 30 à 300 GHz.

Ondes radios ou ondes radioélectriques : l'UIT en donne la définition suivante « ondes électromagnétiques dont la fréquence est par convention inférieure à 300 GHz, se propageant dans l'espace sans guide artificiel ».

Spectre de fréquences mobiles : une onde radio est identifiée par sa fréquence exprimée en Hertz (Hz). L'ensemble des fréquences constitue le spectre radiofréquence. L'attribution de bandes de ce spectre aux opérateurs mobiles est gérée en France par l'ARCEP.

Terminal numérique mobile : appellation regroupant les objets nomades permettant de se connecter aux réseaux sans fil. A titre d'exemple, sont inclus dans cette catégorie les téléphones portables, les ordinateurs portables, les tablettes.

Time-division duplex, (TDD) : est une technique permettant à un canal de télécommunication utilisant une même ressource de transmission (un canal radio par exemple), de multiplexer sur la même fréquence l'émission et la réception. Cette technique présente un avantage certain dans le cas où les débits d'émission et de réception sont variables et asymétriques. Lorsque le débit d'émission augmente ou diminue, davantage ou moins de bande passante peut être allouée.

Réseaux 2G : Réseaux mobiles dits de deuxième génération répondant à la norme GSM (3GPP)

Réseaux 3G : Réseaux mobiles dits de troisième génération répondant à la norme UMTS (3GPP)

Réseaux 4G : Réseaux mobiles dits de quatrième génération répondant à la norme LTE (3GPP)

Réseaux 5G : Réseaux mobiles dits de cinquième génération (3GPP)

Réseaux IoT : Réseaux de communication pour les objets connectés

Réseaux PMR : Réseaux radio professionnels

Zone blanche : zone du territoire peu ou pas desservie par un réseau de la téléphonie mobile ou par l'Internet filaire, selon le contexte d'emploi.

La Banque des Territoires a réalisé cette étude avec les cabinets :



S'appuyant sur 16 ans d'expérience, PMP est un cabinet de **conseil en stratégie, développement et transformation** qui accompagne les directions générales pour définir et mettre en œuvre leur stratégie. PMP intervient à la fois sur des **missions stratégiques et opérationnelles** avec une approche « business partner » auprès de ses clients orientés résultats. Professionnels aux profils variés et riches d'une expérience locale et internationale. L'équipe est composée de **110 professionnels sur 4 bureaux** : Montréal, Paris, Casablanca, Bruxelles. **Les secteurs** sur lesquels le cabinet intervient sont les télécoms, les médias, le transport/nouvelles mobilités, l'énergie, l'industrie du tourisme, la banque et l'assurance.



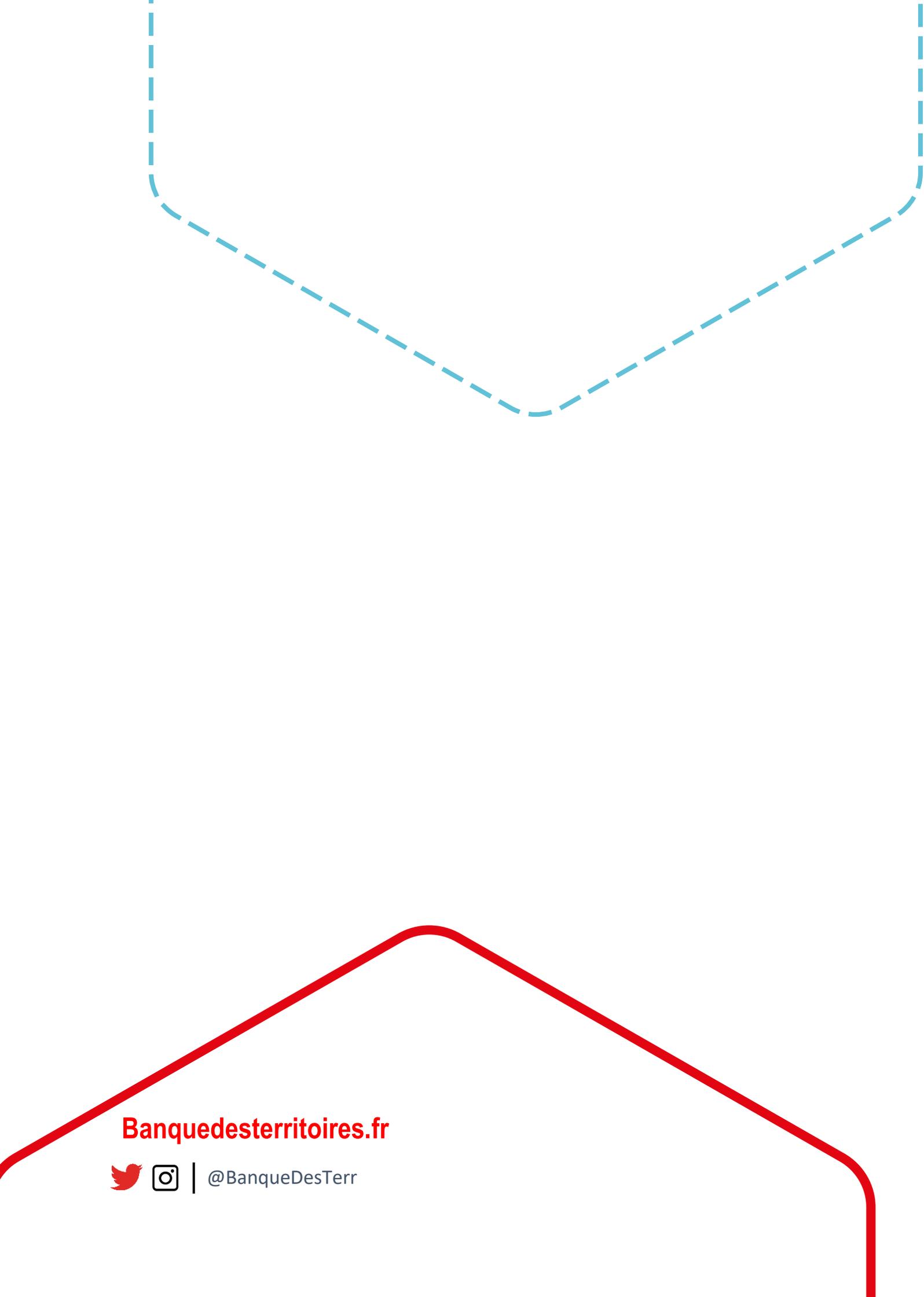
expertise • solutions

LD est une société spécialisée dans l'ingénierie des réseaux sans fil. Créée en 2002, elle intervient sur deux segments de marchés majeurs :

- Accompagnement des **acteurs des « verticales » de l'économie**, pour la mise en œuvre de réseaux mobiles privés, capables de répondre aux exigences métiers spécifiques, dans des environnements parfois contraints (emprises des transports, industries, ...)
- Accompagnement des **acteurs de l'immobilier et du secteur tertiaire**, pour la mise en œuvre de solutions de connectivité sans fil dans des environnements intérieurs

LD intervient auprès de ses clients sur les phases suivantes de leurs projets :

- Conseil et stratégie : veille technologique et réglementaire, orientations stratégiques, conseil sur les choix technologiques et la conception des réseaux, conseil sur les stratégies d'acquisition des solutions de réseaux.
- Ingénierie et suivi de projet : recueil des besoins fonctionnels, cadrage et conception de réseaux, mesures de qualification et réception, diagnostic sur le terrain et analyse des performances, suivi opérationnel de projets



Banquedesterritoires.fr

  | @BanqueDesTerr