



HAL
open science

Numérique, pour une politique industrielle | La 5G dans les chaînes de valeur des données – Un défi technologique et industriel devant nous

Pascal Allain, Raphaël Auphan, Dominique Bolignano, Antoine Bril, Philippe Calvez, Eric Hardouin, Doh-Shin Jeon, Eric A Mercier, Luca Mollo, Isabelle Piot-Lepetit, et al.

► To cite this version:

Pascal Allain, Raphaël Auphan, Dominique Bolignano, Antoine Bril, Philippe Calvez, et al.. Numérique, pour une politique industrielle | La 5G dans les chaînes de valeur des données – Un défi technologique et industriel devant nous. [0] ANRT. 2021, 39 p. hal-03204659

HAL Id: hal-03204659

<https://hal.inrae.fr/hal-03204659>

Submitted on 21 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RAPPORT DE SYNTHÈSE

La 5G dans les chaînes de valeur des données - Un défi technologique et industriel devant nous

anRT
ASSOCIATION NATIONALE
RECHERCHE TECHNOLOGIE

 **FUTURIS**

**LE POUVOIR DE
L'INTELLIGENCE
COLLECTIVE**

MARS / 2021
LES CAHIERS FUTURIS

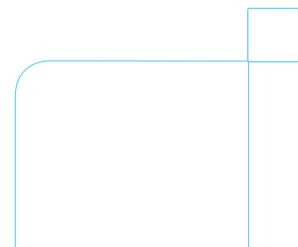
Un rapport du groupe de travail *Pour une politique industrielle du numérique*,
présidé par Gérard Roucairol, président honoraire de l'Académie des technologies
Pierre Bitard, auteur, ANRT
Clarisse Angelier, directrice de publication, ANRT

Ces travaux sont soutenus financièrement par les souscripteurs FutuRIS :

AI CARNOT, AIR LIQUIDE, ANR, BERGER-LEVRAULT, BOUYGUES, BRGM, CEA, CNRS, CPU, EDF, ENGIE, FACEBOOK, GE HEALTHCARE, INRIA, INSERM, INSTITUT MINES TELECOM, INSTITUT PASTEUR, IRIS SERVIER, MESRI, NOKIA, ORANGE, GROUPE RENAULT, SNCF, THALES, TOTAL, UBER



Le contenu n'engage que la responsabilité de l'ANRT en tant qu'auteur et non celle des institutions qui lui apportent leur soutien.



Membres actifs du groupe de travail de haut-niveau



Pascal ALLAIN
Raphaël AUPHAN
Dominique BOLIGNANO

Antoine BRIL
Philippe CALVEZ
Eric HARDOUIN

Doh-Shi JEON
Eric MERCIER

Luca MOLLO
Isabelle PIOT-LEPETIT

Michele SARTORI
Emilie VIASNOFF

Ascension VIZINHO-COUTRY

PHILIPS

COSMIAN

PROVENRUN

SERVIER

ENGIE

ORANGE

TOULOUSE SCHOOL OF ECONOMICS

CEA

PFIZER

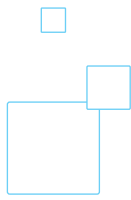
INRAE

COSMIAN

CEA

MATHWORKS

A qui s'adressent nos vigoureux remerciements



SOMMAIRE

RÉSUMÉ EXÉCUTIF	6
INTRODUCTION	10
1. LE CONTENU TECHNOLOGIQUE DE LA 5G INFRASTRUCTURE ET SERVICES	13
1.1 LES INFRASTRUCTURES DE LA 5G	13
1.2 LA VIRTUALISATION, L'AVANCÉE PHARE DE LA 5G : LATENCE RÉDUITE ET « DÉCOUPAGE DE RÉSEAU »	15
1.3 LA DISTINCTION "RÉSEAU PRIVÉ" - "RÉSEAU NON PUBLIC" ET SES CONSÉQUENCES	15
1.4 LA QUÊTE DES ONDES MILLIMÉTRIQUES	16
1.5 LE COUPLAGE DE LA 5G ET DE L'EDGE COMPUTING CONDUIT À DEUX OFFRES APPAREMMENT ANTAGONIQUES	17
2. DES PLATEFORMES MÉTIERS ENRICHIES EN 5G	19
2.1 DES CONTEXTES D'USAGE À HAUTE VALEUR AJOUTÉE	19
2.2 UN NOUVEAU STADE DE FLEXIBILITÉ DE LA PRODUCTION	20
2.3 UNE VOIE VERS L'E-SANTÉ	20
2.4 L'OUVERTURE NÉCESSAIRE AUX DEVOPS DE L'E-SANTÉ	22
2.5 VILLES INTELLIGENTES « À SPÉCIALISATION CHOISIE »	22
2.6 EN PROFONDEUR, DEUX POINTS D'ATTENTION	24
3. LA 5G ET L'ENJEU DE LA CONFIANCE DANS LA PLATEFORMISATION B2B	27
3.1 DES EFFETS SOUS LE SIGNE DE L'AMBIVALENCE	27
3.2 PLUSIEURS NUANCES DE TECHNOLOGIES DE LA CONFIANCE	27
3.3 DU CARACTÈRE « PERSONNEL » DES DONNÉES À LA RECONFIGURATION DE LA CHAÎNE DE VALEUR INDUITE PAR L'ADOPTION DE LA 5G	31
4. ENSEIGNEMENTS ET QUESTIONS OUVERTES	35
4.1 « CLOUDIFICATION » N'EST PAS PLATEFORMISATION	35
4.2 DES DÉFIS TECHNICO-ÉCONOMIQUES À RELEVER	36
4.3 GAGNER, EN EUROPE, LA BATAILLE DES DONNÉES INDUSTRIELLES GRÂCE À LA 5G ?	37

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Depuis 2017, nos travaux entendent interroger les fondements d'une politique industrielle du numérique, et identifier des leviers d'appropriation stratégique utiles aux entreprises dans leur mutation. Ils procèdent d'une approche technoéconomique de la transformation numérique, qui s'appuie sur une caractérisation fine des technologies du numérique et des mécanismes économiques qui en façonnent l'appropriation.

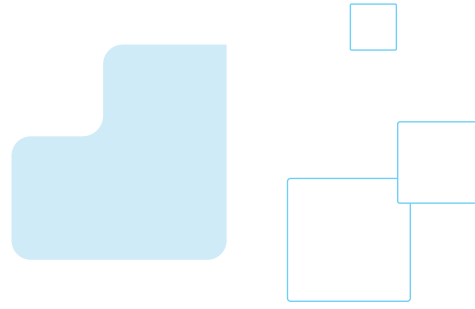
Les compétences et périmètres d'intérêt variés des participants au groupe de travail ont guidé l'examen prospectif de la 5G (la cinquième génération de téléphonie mobile) dans les chaînes de valeur des données (industrielles). **Si l'essentiel du défi technologique et industriel reste à venir, la 5G constitue, pour les entreprises industrielles, une voie d'accès privilégiée à la plateformes numérique.** Le rapport expose l'analyse qui permet d'aboutir à ce constat, interroge les modalités de diffusion de la 5G dans les chaînes de valeur, et pointe des pistes d'orientation aussi bien politiques que stratégiques.

TROIS ENSEIGNEMENTS DE L'ANALYSE, TROIS PISTES D'ACTION POUR LES POLITIQUES ET LES ENTREPRISES.

1. Il faut reconnaître le pouvoir de marché des *hyperscalers* dans les chaînes de valeur des données industrielles lorsque la 5G est impliquée. Leurs compétences informatiques pointues et abondantes font d'eux des recours incontournables, y compris pour les opérateurs télécoms. Il est toutefois crucial de souligner que **la cloudification n'est pas la plateformes numérique.** Il existe une variété de voies de plateformes numérique

ouvertes aux entreprises industrielles françaises et européennes. La 5G pourra redonner aux entreprises utilisatrices une maîtrise sur leur propre écosystème de données. En effet, elle les dotera d'une infrastructure de réseau entièrement à leur main. Cette maîtrise, via la 5G, est une invite à organiser des accords avec les autres intervenants dans ses propres chaînes de valeur des données. **Cette circulation vertueuse des données entre les entreprises d'un écosystème métier est favorisée par la 5G, à condition de disposer d'un accès aux compétences socles de technologies de confiance.** La performance et l'autonomie stratégique des fournisseurs européens de cloud ne sont pas les seuls déterminants de la transformation business que représente la plateformes numérique. **Des mesures de politique industrielle de structuration des conditions-cadres favorables, fondées sur une bonne compréhension des enjeux techniques, sont indispensables. Un objectif central de ces mesures doit être de rendre possible, parce qu'encadré, l'établissement d'accords entre entreprises d'un même écosystème métier.**

2. Des points durs techniques demeurent pour la 5G, défis que l'écosystème européen de recherche et d'innovation est bien placé pour relever. Aussi, **renforcer très fortement le soutien à la recherche technologique sous-jacente, par nature souvent public-privé, apparaît comme une orientation politique majeure. L'accélération du soutien public à la recherche technologique pourrait s'exprimer selon deux axes complémentaires :** améliorations dans le domaine des radiofréquences pour des infrastructures de communication **ultra-fiables à très**



faibles latences (uRLLC) ; améliorations dans le registre de la virtualisation sous-jacente au découpage du réseau 5G en « tranches » non publiques, par des travaux sur les principales composantes techniques de l'architecture logicielle d'exploitation du réseau (cloud computing de deuxième génération). Là encore, **la capacité de réduction de la latence** sera décisive. Des travaux additionnels seront nécessaires qui tireront toutes les conséquences logiques de **ces avancées de la 5G vers le temps réel**. Citons à ce stade une évolution de la nature des données, de la nature des logiciels susceptibles de les traiter, de la nature des services alors fournis, de l'architecture de répartition des tâches entre les terminaux, les serveurs edge et les clouds centraux.

3. Les positionnements, voire les adhésions à des codes inter-organisationnels et intergouvernementaux des plateformes numériques structurantes ne peuvent constituer des preuves suffisantes de transparence. Description des conditions générales de vente et adhésion à des codes de bonne conduite représentent des promesses qui n'engagent que ceux qui les acceptent. Compte tenu de leur pouvoir de marché et de la domination technologique qui en résulte, les hyperscalers en tant que ressources clés de la 5G et partenaires des industriels et des opérateurs télécoms, ne peuvent être considérés comme des compétiteurs comme les autres. Dans le numérique en particulier, la domination s'accompagne de risques de pratiques anticoncurrentielles (autoréférence et comportements différenciés). **L'analyse des impacts des usages de la 5G l'a mis en lumière avec netteté, seule la possibilité d'une procédure d'audit et la délivrance**

d'un certificat par une autorité compétente indépendante peut former le socle d'une garantie réellement protectrice. Une politique industrielle du numérique doit donc, selon nos travaux, contribuer à rendre auditables les plateformes, en intégrant au mieux les acquis du droit de la concurrence et de l'économie de l'innovation.

Ces trois enseignements découlent de l'analyse suivante.

La 5G est considérée comme une brique technologique dont les fonctionnements et les usages se définissent en interaction avec la plateformes. Ainsi, **la 5G fait appel à une architecture informatique où des équipements de réseaux sont remplacés par des serveurs spécialisés et des logiciels**. Cette nouveauté majeure autorise la **virtualisation** de ces ressources de réseau au service d'une part de plus en plus conséquente des fonctions et services de télématique industrielle. La combinaison judicieuse de la virtualisation de plusieurs fonctions du réseau et d'un emploi optimisé des communications à hautes et très hautes fréquences (ondes millimétriques) servent la plateformes. **A partir de 2023/2025, la 5G va affecter en profondeur les usages au sein des chaînes de données industrielles** dans le cadre ainsi décrit. La virtualisation contribue à réduire la latence et autorise le « découpage de réseau ». Le découpage dynamique permettra une orchestration et une automatisation du découpage de bout-en-bout. **L'entreprise utilisatrice de 5G deviendra alors opératrice de sa propre infrastructure de réseau sur les sites équipés. Une combinaison de cloud et d'edge computing fonctionnant avec la 5G** sont déjà, et seront encore plus demain, **proposés par les nouveaux concurrents que sont les opérateurs**

télécoms et les fournisseurs de cloud. Lesquels forment des alliances complexes, dont l'un des objectifs est le partage d'une valeur encore largement théorique. Compte tenu des accords contractuels déjà engagés, les trois principaux fournisseurs de services cloud, aussi appelés hyperscalers, tendent à étendre leur domination aux services de 5G.

Sont ensuite envisagés et analysés plusieurs scénarios d'usage, en se focalisant sur le potentiel de création de valeur dans les chaînes de données industrielles grâce à la 5G. On souligne les facteurs discriminants, qui sont autant de leviers sur lesquels concentrer les actions. **Les contextes d'usages à haute valeur ajoutée autorisés par la 5G résulteront nécessairement de processus de co-innovation en B2B (clients-fournisseurs/opérateurs).** Les changements techniques et d'organisation induits par **la 5G se manifesteront au sein d'une variété d'écosystèmes spécifiques. Chacun d'eux s'organisant en fonction des chaînes de valeur des données concernées.** La situation archétypique consisterait en une activité collective à haut niveau d'expertise, tel un travail d'équipe spécialisé opérant en temps réel à distance, nécessitant des échanges d'une extrême précision spatio-temporelle, et de hauts niveaux de sûreté et de sécurité de fonctionnement. Quoi qu'il en soit, cet idéal-type ne constituera pas la majorité des situations d'usage mais la frange la plus aboutie et avancée. La plus grande partie des usages répondront à des contraintes plus standards, moins exigeantes. Nous en caractérisons plus particulièrement trois :

- **La 5G fait l'objet d'une dynamique d'appropriation soutenue par l'ensemble de l'écosystème de la santé comme étape de sa plateformes numérique**

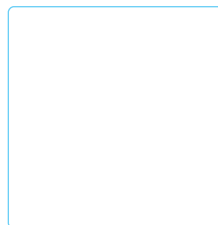
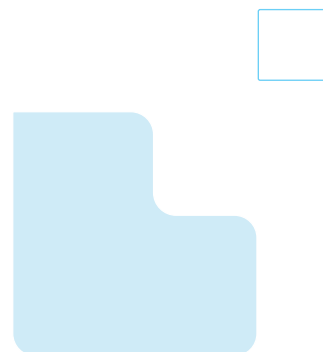
qui vise à établir la médecine des 4P (personnalisée, préventive, prédictive, et participative). Ce mouvement est en outre, en France, soutenu par plusieurs politiques dont « MaSanté 2022 », lancée en 2018. Au cœur du développement de ce plan, la facilitation du partage des données utiles aux meilleurs standards techniques et pour une confidentialité et une sécurité préservée. Le succès de cette démarche, en cours, repose sur des collaborations des opérateurs publics entre eux et avec des entreprises technologiques et les opérateurs télécoms, et le développement d'équipements médicaux de dernière génération '5G-ready'. **Cette circulation ouverte et maîtrisée des données de santé pertinentes reste le socle de la plateformes numérique de la santé qui tire le meilleur parti de la 5G.**

- **La 5G représente pour les entreprises manufacturières une opportunité pour améliorer encore la flexibilité de leurs processus de production.** Elle est aussi une chance pour les entreprises d'infrastructure, y compris publiques, de développer des nouveaux services.
- Troisième situation d'usage privilégiée, **la ville intelligente (smart city) en tant qu'elle se spécialise dans la fourniture de certains services urbains intégrés (santé, tourisme, mobilité) grâce à la 5G.** Compte tenu des qualités de « bien réseau » de la 5G, l'espace urbain, territoire de connexion, représente l'horizon pertinent d'une plateformes numérique des services publics.

A travers l'exploration de ces trois scénarios d'usage sont révélés plusieurs points d'attention. **La communauté des développeurs d'application doit bénéficier d'un large et souple accès à**

la 5G afin qu'elle développe les **briques de microservices sur les plateformes opérant en 5G**. La 5G va concourir à favoriser **le recours à une expertise pointue à distance** en rendant accessible un contexte enrichi de l'évènement sur lequel portera leur diagnostic. Les conséquences économiques, réglementaires et légales de ces nouvelles situations d'expertise à distance méritent de faire l'objet d'une analyse approfondie. Les cas d'usages envisagés supposent la mobilisation d'importants volumes de données (la vidéo étant grande consommatrice) ; **les ondes millimétriques vont devoir faire l'objet d'exploitations opérationnelles systématique**. Avec comme incidente que **la densité du réseau en stations de base à petites cellules se présente comme un goulet potentiel de diffusion**.

Enfin, la confiance représente l'ingrédient primordial de l'appropriation de la 5G comme brique fondamentale de la plateformes numérique des entreprises. De fait, la 5G améliore la sécurité des usages tout en accroissant la surface d'attaque, ce qui induit un risque supérieur en matière de cybersécurité. L'évolution des relations au sein des chaînes de valeur des données dans les différents écosystèmes est façonnée par des changements importants des rapports économiques entre offreurs de technologies. Les usages, les technologies et l'organisation industrielle évoluent de concert. A cette échelle, la 5G serait susceptible de jouer un rôle intégrateur et « fiabilisateur » de la donnée. Sont distinguées six **approches, distinctes et souvent complémentaires, de la confiance lorsque la 5G est impliquée**. Le cas échéant, des recommandations, reprises de l'état de l'art de la littérature spécialisées sont indiquées.



INTRODUCTION

Dans la courte histoire de la cinquième génération de communications mobiles (5G), 2020 aura sans doute été l'année la plus importante. L'année de l'achat des fréquences en France, et celle du déploiement dans la plupart des Etats européens ; l'année du déploiement massif en Chine, avec au moins 600 000 antennes et 50 millions d'abonnements 5G, et des applications dans de nombreux sites dont les hôpitaux. L'année aussi de la guerre économique ouverte par Washington contre l'un des principaux équipementiers de la 5G qui est aussi l'un des principaux vendeurs de terminaux grands publics, Huawei. Ces circonstances ont élevé d'un cran l'attention à la notion de souveraineté technologique, devenue un point de passage obligé des discours des responsables politiques. Du fait de la pandémie de COVID-19, les questions soulevées par l'arrivée de la 5G, et sa réelle valeur ajoutée, se sont faites plus pressantes ; en effet, télécommuniquer comporte une assurance de non contamination. La mutation télématique qui a marqué de très nombreuses activités, commerciales, professionnelles ou de divertissement conduit alors à la question : a-t-on besoin de la 5G maintenant ?

En dépit de cette percée, la 5G demeure en réalité largement *terra incognita*. D'immenses défis techniques demeurent avant qu'elle ne puisse prodiguer ses bienfaits les plus innovants ; bienfaits dont les conséquences sur les usages potentiels, qui tous induisent des transformations organisationnelles en rapport avec les chaînes de valeur des données, demeurent incertaines.

Lorsque nos travaux ont été initiés, l'intention prospective était affirmée fin 2019 - début 2020. Nous poursuivons l'exploration de la transformation numérique, que nous avons nommée plateforme, et de la façon dont

la politique industrielle pourrait permettre d'en tirer le meilleur parti, pour la France et l'Europe. Notre grille de lecture considère la plateforme numérique comme le changement de paradigme qui affecte la dynamique socioéconomique contemporaine ; il est donc indispensable de chercher à la décrypter (Cf. Pour une politique industrielle du numérique, ANRT, 2018 ; Prix et valeur des données dans la plateforme numérique, ANRT, 2019). La plateforme numérique bouleverse les relations entre les entreprises et les consommateurs finaux, entre les entreprises, et entre les pouvoirs publics et le monde socioéconomique. Bien comprise, c'est une opportunité à saisir en matière de politique industrielle.

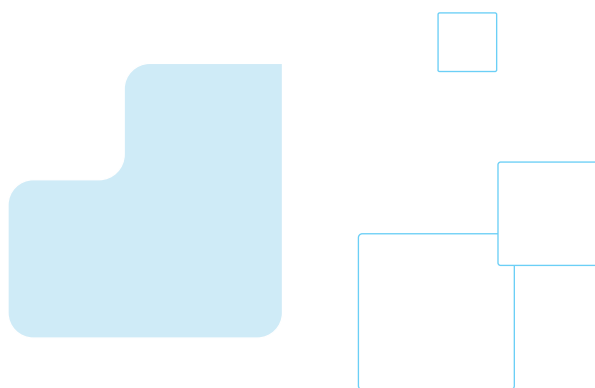
A la suite des travaux précédents, nous ambitionnons d'analyser les conséquences des usages de la 5G sur les chaînes de valeur des données dans un tel contexte. Objectif ambitieux et précoce. Ambitieux car l'indispensable structuration d'accords coopératifs entre parties prenantes, chaînes de valeur métier par chaîne de valeur métier, source d'une possible création de valeur s'espère plus qu'elle ne se constate. Précoce car du point de vue du développement industriel, difficile d'observer aujourd'hui les impacts des usages de la 5G...dont les vrais débuts ne sont pas attendus avant 2023.

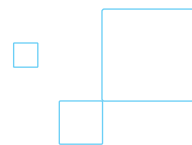
L'approche adoptée, holistique et fondée sur une attention fine aux détails, permet d'identifier plusieurs des questions et enjeux structurants pour l'avenir. La 5G¹ est comprise comme une technologie dont la trajectoire se détermine en interaction avec la dynamique du changement paradigmatique, i.e. la plateforme numérique. Pour comprendre la nature des

1- La 5G fait partie de la liste des « technologies clés » selon le vocabulaire de la Commission européenne, aux côtés des processeurs, des constellations de satellites pour l'accès à Internet, du cryptage quantique, de l'informatique en périphérie de réseau (edge computing) et de l'informatique en nuage (cloud).

effets de la 5G sur la plateformisation, l'adoption d'un prisme technoéconomique s'avère donc nécessaire. C'est ce à quoi s'emploie ce rapport, conçu grâce aux échanges ayant eu lieu au sein du groupe de travail, et au recours modéré à la littérature professionnelle pertinente.

Après cette introduction, ce rapport est structuré en quatre temps. Nous commencerons par une présentation du contenu technologique de la 5G, aussi bien en termes d'infrastructure technique que de services. Nous insisterons sur les éléments de nouveauté de cette brique technologique. Ensuite, seront décrits les points saillants des évolutions d'une plateformisation B2B qui aurait recours à la 5G, selon différentes spécialités et thématiques socioéconomiques. La troisième partie sera consacrée à la dimension centrale de la plateformisation B2B lorsque la 5G est mobilisée : la confiance. Finalement, seront mis en valeur les principaux enseignements de ce travail et évoquées les questions qui, à ce stade, demeurent ouvertes.





1 LE CONTENU TECHNOLOGIQUE DE LA 5G

INFRASTRUCTURE ET SERVICES

Parce qu'il ne peut y avoir compréhension des usages, voire des conséquences de l'usage, d'une technologie sans un regard porté sur ses caractéristiques, cette première partie rassemble les éléments clés, à partir de nos échanges au sein du groupe de travail. L'emploi du vocabulaire du spécialiste est limité à l'essentiel.

La cinquième génération de téléphonie mobile (5G) transmettra voix et données avec un débit accéléré, environ 10 fois supérieur à celui de la génération précédente (4G), et une latence réduite entre 1 et 10ms - soit 10 fois inférieure à celle de la 4G. Le débit correspond à la capacité du canal de transmission à transmettre une quantité d'informations, soit la quantité de données par unité de temps ; la latence est le temps écoulé entre le moment où l'information est émise par un appareil et le moment où elle est arrivée à destination. Ces informations sont transportées par radiofréquences. S'agissant de télécommunications, on constate un mix où se combinent électronique, informatique, optique et électromagnétique. Bien que des défis spécifiques de la 5G concernent l'exploitation et l'optimisation des communications à hautes voire très hautes fréquences, sa mise en œuvre repose sur une architecture informatique où des équipements de réseaux sont remplacés par des serveurs spécialisés et des logiciels. C'est une nouveauté majeure.

1.1

LES INFRASTRUCTURES DE LA 5G

L'infrastructure du réseau 5G² comprend des stations de base à macro et à petites cellules avec des capacités de calcul en périphérie. Les

macro-cellules correspondent aux tours actuelles et desservent une zone importante. Dans un réseau 5G, de nombreuses fonctions réseau seront virtualisées, i.e. elles s'exécuteront en tant que logiciel (monde informatique), fournissant alors les services d'un « réseau sans fil privatif »³. Jusqu'à la 4G, les fonctions réseaux s'exécutaient complètement sur du matériel (monde télécoms). Pendant une période de transition de trois à quatre ans, la plupart des opérateurs vont continuer à utiliser les réseaux d'accès radio (RAN) 4G LTE⁴ existant. Vont être déployées des antennes 5G alors que les antennes 4G continueront à fonctionner pendant encore de nombreuses années. Au passage, et c'est une avancée majeure de la 5G, ces nouvelles antennes permettront notamment de cibler précisément la transmission des ondes vers des relais et vers des terminaux ; les antennes dites 4G ont un large spectre et émettent de manière plus ample. Pendant la période au cours de laquelle la nouvelle infrastructure physique sera construite, les opérateurs pourront commencer à offrir des services améliorés, une sorte de « 4G++⁵».

En somme, l'infrastructure 5G va évoluer de la 5G non autonome (ou « radio-5G ») vers la 5G complète dite autonome. La première, de transition, s'appuie en partie sur l'infrastructure et le cœur de réseau 4G LTE existants, tout en apportant des améliorations de services grâce de nouvelles technologies comme la Nouvelle Radio 5G.

L'infrastructure 5G autonome consistera en des « équipements d'accès », le RAN - qui comprend la Nouvelle Radio - et un « cœur de réseau 5G ». Le cœur de réseau 5G repose sur une infrastructure « basée sur les services » avec des fonctions de

2- La norme de référence, dans sa dernière version, produite par le 3GPP, date d'octobre 2019 et est accessible ici : https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/121900_121999/121915/15.00.00_60/tr_121915v150000p.pdf

3- À noter, les fonctions de plus bas niveau de la couche physique resteront effectuées sur des processeurs dédiés, au moins pour encore quelques années. Les services d'un réseau privatif seront possibles, mais pas forcément nécessaires. En particulier, les services grand public qui n'ont pas besoin d'une QoS particulière n'en bénéficieront pas.

4- Long-Term Evolution (LTE) est une norme de communication haut débit sans fil pour les appareils mobiles et les terminaux de données. L'emploi de cette norme permet l'accroissement de la capacité et de la vitesse en utilisant une interface radio différente ainsi que des améliorations du réseau central.

5- La 4G+ est le nom commercial pour l'emploi du LTE-Advanced, et existe déjà depuis 2015.

réseau virtualisées. Ces nouveaux services de connectivité auront une bande passante mobile accrue, une capacité IoT massive, une très faible latence à ultra-haute fiabilité. Il est attendu⁶ :

- une augmentation des débits moyens par 3x-4x par rapport à la 4G, qui pourront à terme atteindre le facteur 10 ; et donc des débits de plusieurs Gbps dans les zones couvertes par les ondes millimétriques (e.g. 26 GHz),
- une fiabilité de 99.999%, qui désigne le taux de succès de la transmission sans erreur d'un paquet de données dans une fenêtre de 1 ms ;
- une latence comprise entre 1ms et 10 ms.

En outre, lors de l'usage des équipements, on peut anticiper un doublement de l'efficacité énergétique dès 2021, jusqu'à une amélioration d'un facteur 10, voire 20, en 2025. Cette efficacité énergétique accrue correspond aux gains

attendus par l'opérateur télécoms⁷.

Ces gains proviendront notamment d'une nouvelle technique de multiplexage, d'une nouvelle organisation d'accès au réseau mobile et de la concentration des équipements.

Selon la feuille de route du principal opérateur national, l'année 2023 serait celle du passage à la 5G autonome. 2020 et 2021 prolongent, chez Orange, une phase nommée de « co-innovation » sur la 5G. Période pendant laquelle des expérimentations grandeur réelle sont effectuées, et montent en puissance, avec des clients industriels, lead-users. Les essais avec les nouvelles fréquences, 3.5 GHz ou 26 GHz, ont débuté en 2018, via l'attribution par l'ARCEP de fréquences de test. L'attribution des fréquences dans la bande 3,4 -3,8 GHz par l'Arcep a eu lieu fin 2020, aux quatre opérateurs suivants : Bouygues Telecom, Free Mobile, SFR et Orange.

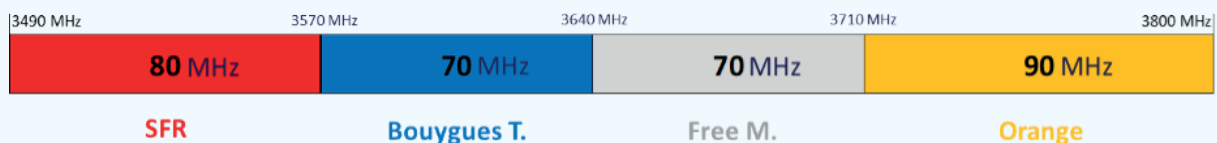
Encadré 1 - Attribution des fréquences de la 5G aux opérateurs français, 2020

L'enchère principale pour l'attribution de fréquences de la bande 3,4 - 3,8 GHz, qui s'est tenue du 29 septembre au 1er octobre 2020 a permis de déterminer les quantités de fréquences obtenues par chacun des lauréats. L'enchère « de positionnement », qui permet de déterminer la position des fréquences de chaque lauréat dans la bande 3,4 - 3,8 GHz a eu lieu le 20 octobre 2020.

Le résultat de l'enchère de positionnement est le suivant :

Candidat	Bouygues Telecom	Free Mobile	Orange	SFR	Total
Positionnement dans la bande en partant du bas	2	3	4	1	-
Montant à verser résultant de l'enchère de positionnement	0 €	3 096 245 €	0 €	0 €	3 096 245 €

Le résultat final de la procédure d'attribution est donc le suivant :



Le tableau ci-dessous récapitule les fréquences dans la bande 3,4 - 3,8 GHz que l'Arcep va attribuer à chaque lauréat ainsi que les montants qu'ils devront verser :

Candidat	Bouygues Telecom	Free Mobile	Orange	SFR	Total
Fréquences	3570 - 3640 MHz	3640 - 3710 MHz	3710 - 3800 MHz	3490 - 3570 MHz	-
Quantité de fréquences	70 MHz	70 MHz	90 MHz	80 MHz	310 MHz
Montant	602 000 000 €	605 096 245 €	854 000 000 €	728 000 000 €	2 789 096 245 €

Source : site de l'ARCEP, 4 novembre 2020.

6- Une partie substantielle des développements qui suivent - en particulier lorsque la société Orange est citée - s'inspirent de la présentation faite par Eric Hardouin (Orange), le 12 février 2020.

7- Les gains pour le terminal utilisateur, s'ils existent, sont mal connus de l'opérateur, et font l'objet de beaucoup de travaux, qui ne sont pas encore évalués par une norme.

Au deuxième semestre 2020, 11 villes européennes sont concernées par la 5G (version 4G++) d'Orange pour la co-innovation, dont 5 en France, 3 en Roumanie, 2 en Pologne et une en Belgique.

La 4G et ses améliorations successives continueront à fonctionner au moins jusqu'en 2030.

1.2

LA VIRTUALISATION, L'AVANCÉE PHARE DE LA 5G : LATENCE RÉDUITE ET « DÉCOUPAGE DE RÉSEAU »

La première caractéristique technique de la 5G, c'est de réduire à très peu de chose le temps de latence. Nous avons vu plus haut qu'il s'agit du délai en millisecondes qui sépare le moment de l'envoi du message de sa réception. Avec la 5G, il est théoriquement possible de la réduire presque rien : entre 1 et 10ms. La réduction du temps de latence permise par la 5G découle de gains en efficacité du côté du terminal de l'utilisateur et de gains du côté des équipements⁸. Le terminal de l'utilisateur bénéficiera des gains permis par des puces plus efficaces. Pour les équipements, c'est un profond changement d'architecture du réseau qui va permettre la réduction de la latence ; ce changement combine évolutions du « réseau cœur » et du réseau d'accès radio (RAN⁹). Ce dernier, pour atteindre la faible latence, devra être reparamétré de manière flexible par logiciel : un RAN virtualisé, dynamique et configurable est donc ici clé. L'amélioration radicale de la latence offerte par la 5G suppose donc la virtualisation d'un maillon essentiel du réseau : le RAN.

En outre, grâce au « découpage de réseau » 5G, l'opérateur peut offrir à un client individuel une « tranche de réseau », sur une même infrastructure (physique). Tout se passe comme si le client disposait, à la demande, d'un réseau sans fil propre, isolé de bout en bout, satisfaisant aux exigences d'une application particulière.

Ainsi, les télécommunications s'informatisent : des logiciels se substituent à du matériel, permettant l'exécution de certaines fonctions des réseaux virtualisés, selon des « tranches de

réseaux ». On retrouve là des principes anciens utilisés en informatique dans des contextes de temps partagés, où plusieurs utilisateurs partagent l'usage d'un même ordinateur en même temps. A partir d'une même infrastructure physique mutualisée, des tranches de réseaux 'privatifs' pourront être produites sur demande des clients.

La mutualisation permet aux « réseaux privatifs » d'être théoriquement accessibles à des tarifs bien inférieurs à ceux impliquant des réseaux physiques dédiés. Concrètement, la vitesse de production des tranches est clé ; quand la virtualisation sera complète, l'obtention d'un réseau propre s'effectuera à la demande, sur un mode « presse-bouton ». Selon les projections d'Orange, les années 2023 à 2025 verront l'installation du découpage semi-dynamique, avec des cœurs de réseau 5G et un nombre limité de tranches possibles, configurées manuellement ou semi-automatiquement. A partir de 2025, le découpage dynamique sera possible qui permettra une orchestration et une automatisation de bout-en-bout du découpage, et donc une production et une gestion dynamiques du découpage.

Les avantages pleins et entiers de la 5G seront atteints après 2025, lorsque les opérateurs découperont de manière dynamique (rapide) un réseau physique en plusieurs réseaux virtuels de bout en bout (End-to-End). Chacun des réseaux virtuels étant logiquement isolé, y compris le périphérique, l'accès, l'acheminement et le réseau principal, pourront être dédiés à des services avec des caractéristiques différentes. Ce découpage en tranches privatives dédiées géré de manière dynamique rendra possible une nouvelle économie des données, pour des types d'informations et de contextes spécifiques.

1.3

LA DISTINCTION “RÉSEAU PRIVÉ” - “RÉSEAU NON PUBLIC” ET SES CONSÉQUENCES

Outre la responsabilité de l'attribution des fréquences, l'ARCEP a pour mission d'accompagner les entreprises dans leur déploiement de la 5G. Elle a donc pris l'initiative de soutenir des projets pilotes sur des sites

8- Le lecteur intéressé peut ici se référer au site très pédagogique « EMF Explained Series ». EMF fait référence à ElectroMagnetic Field, soit aux champs électromagnétiques. Il s'agit d'un site d'informations s'appuyant sur les ressources des agences de santé nationales et internationales, développée par l'Australian Mobile Telecommunications Association (AMTA) en collaboration avec la GSM Association (GSMA) et le Mobile & Wireless Forum (MWF). <http://www.emfexplained.info/fra/>; la plupart des contenus sont proposés en 5 langues, dont le français. Pour notre sujet, voir <http://www.emfexplained.info/fra/?ID=25916>.

9- RAN : 'radio access network.

industriels notamment. D'abord, depuis début 2018, dans la bande de fréquences 3400 - 3800 MHz, avec 9 sites pilotes ; puis depuis janvier 2019, dans la bande 26GHz, avec 11 sites pilotes (pour des durées jusqu'à 3 ans). Jusqu'à présent, en France, le choix politique a été de ne pas réserver une partie du spectre aux usages industriels, à la différence d'autres pays en Europe. Les entreprises ne seront donc probablement pas en capacité de déployer leur réseau sur leurs propres fréquences 5G chez elles avant une décennie, selon certains des participants à notre groupe de travail.

Classiquement, pour assurer les communications des fonctions critiques avec le niveau de sécurité requis 'à titre privé', les entreprises mettent en œuvre les technologies usuelles comme l'Ethernet, la fibre, le Wi-Fi, le WiMAX, Bluetooth, et les systèmes de radio mobile terrestre (LMR). Mais ces systèmes, en dépit de leurs notables améliorations, connaissent des limites. Comme les entreprises digitalisent leurs processus industriels, leurs besoins et exigences augmentent (industrie 4.0). En parallèle, la 5G apparaît comme une solution susceptible de répondre à ces nouveaux défis, en tant que support de l'IoT par exemple. Les technologies mobiles (3G, 4G et) 5G sont considérées comme des solutions alternatives offrant, pour les fonctions critiques, des caractéristiques recherchées (fiabilité accrue, latence réduite, meilleur niveau de sécurité).

Dans le cas des technologies classiques, les entreprises utilisatrices déploient un « réseau privé ». Avec les technologies mobiles, lorsqu'une entreprise utilisatrice veut répondre à ses besoins de communication sans fil critiques, avec le niveau recherché de sécurité, le vocabulaire officiel du 3GPP utilise la terminologie de « réseau non public » (NPN). Ces réseaux non publics, au sens de privés, reposent sur des systèmes cellulaires physiques ou virtuels. Les réseaux privés sont entièrement à la main de l'organisation utilisatrice ; pour les réseaux non publics, les organisations utilisatrices peuvent utiliser pour leur propre usage une partie dédiée des infrastructures de réseaux publics. Le niveau de sécurité dans un réseau non public 5G diffère donc, et la nature et la qualité des protocoles de sécurité (monde du logiciel) doivent alors être adaptées.

Les options techniques qui s'offrent aux entreprises souhaitant tirer parti des possibilités ouvertes par ces réseaux avancés sont donc plus variées. Par conséquent, c'est après une analyse tenant compte des spécificités et nécessités métiers quant au type et à la vitesse de circulation des données, des investissements nécessaires, que le choix va se porter, à date, sur un type de solution. Les déploiements de solutions 4G LTE restent privilégiés dans nombre de processus industriels ; ces solutions sont suffisantes pour satisfaire la plupart des enjeux de communications.

1.4

LA QUÊTE DES ONDES MILLIMÉTRIQUES

Le fonctionnement du futur réseau mobile 5G va mobiliser une combinaison de trois bandes de radiofréquences (RF), dont une nouvelle, la bande des très hautes fréquences. A chaque bande de RF, ses propriétés : à fréquences hautes, haut débit mais portée réduite ; à fréquences basses, débits réduits mais longue portée.

La 4G mobilise la bande des 700 MHz¹⁰. La 5G, dans un premier temps, s'appuiera d'abord sur les 3,5 GHz puis, ensuite, sur la bande des 26GHz et au-delà. Des travaux de R&D sont menés sur les 140GHz, par exemple, lesquels n'aboutiront selon toute vraisemblance que pour la 6G. Le CEA-Leti conduit des expérimentations sur site en 26GHz et s'intéresse de près aux Extremely High Frequencies (EHF). La bande des EHF s'étend entre 30 et 300 GHz, soit une longueur d'onde de 1 cm à 1 mm : ce sont les ondes millimétriques. Le procédé utilisant les ondes hertziennes millimétriques s'appuie sur une technologie radar sans contact et autorise la télé-détection et la télécommunication. A l'origine, la technologie a été créée pour détecter des objets et en fournir la portée, la vitesse et l'angle. Le prix de cette précision est la faible portée des technologies à base d'ondes millimétriques, moins de 5km selon le record actuel. Par conséquent, ses usages privilégiés correspondent aux liaisons du dernier kilomètre dans l'habitat résidentiel, ou aux sites industriels où la fibre optique serait compliquée et chère à mettre en œuvre. Les gares, les aéroports ou les rues très fréquentées ont une forte demande et constituent des sites pouvant mériter d'être équipées en « hot spots ». Ainsi, Orange dispose, avec SNCF et Nokia d'une expérimentation 5G 26 GHz en gare de Rennes.

¹⁰- L'unité de fréquence est le hertz (Hz), lequel correspond à un cycle par seconde. Un MHz, c'est un million de cycles par seconde, un GHz, un milliard.

Encadré 2 – CEA-Leti « Systèmes de communications sans fil et réseaux »

Cent-vingt (120) personnes développent des recherches pour les 3 grandes composantes de ces systèmes à RF : les architectures, les antennes et le design des circuits intégrés. Par ses travaux, le Leti contribue à ouvrir le champ des possibles de la 5G, dans les principaux domaines d'applications suivants : le véhicule connecté et autonome, les communications satellitaires, les infrastructures (comme les antennes), les applications de proximité (pour le monde médical en particulier).

L'exploration systématique des technologies utilisant les ondes millimétriques doit permettre d'exploiter in fine le plein potentiel de la 5G : plus de bande passante pour des fréquences plus élevées ; une connectivité accrue pour l'IoT ; et, des communications ultra-fiables à très faibles latences (uRLLC). **Dans cette spécialité, de nombreux verrous** restent à lever sur lesquels le Leti (et quelques autres acteurs européens peu nombreux) dispose d'une avance technologique. Ces efforts s'insèrent dans un écosystème d'entreprises françaises et européennes actif qui détient un avantage sur la concurrence asiatique et américaine.

Des améliorations importantes sont encore à apporter à la 5G dans sa composante RF, et donc y compris en matière logicielle comme le Software-Defined Wireless Transceiver for IoT. **A chaque échelle du système infrastructurel de la 5G, des verrous techniques demeurent pour la potentialiser.**

Citons-en les principaux :

- Actif connecté (~IoT) : accroître l'autonomie énergétique durable
- Terminal utilisateur : augmenter la capacité de connectivité et les débits de données
- Point d'accès : améliorer sensiblement les communications de moyenne-portée pour aller vers les très hautes performances (liens infrastructures et utilisateurs)
- Infrastructure : aller vers la très haute capacité

Source : D'après la présentation d'Eric Mercier (CEA-Leti), le 28 mai 2020.

Dans cette course à l'hyper-connectivité 5G (objets, machines, personnes), les acteurs Français et Européens disposent de compétences distinctives sur chacun des maillons. Cette qualité d'infrastructure rend atteignable une autonomie sur la totalité de la chaîne : du circuit intégré aux terminaux jusqu'à l'infrastructure en passant par les couches logicielles impliquées. La 5G représente l'une des solutions à l'inéluctable accroissement des besoins en échanges de données. Il reste des places à prendre pour les entreprises européennes, à condition qu'elles bénéficient d'une politique industrielle congruente. Compte tenu de cet avantage concurrentiel, la politique industrielle adaptée doit comprendre l'élaboration et la diffusion des standards correspondants. La participation accrue des organisations de recherche et entreprises concernées aux comités de standardisation mérite d'être plus encore encouragée.

1.5

LE COUPLAGE DE LA 5G ET DE L'EDGE COMPUTING CONDUIT À DEUX OFFRES APPAREMMENT ANTAGONIQUES

A l'examen, la 5G apparaît alléger la contrainte du traitement en périphérie de réseau (edge) en même temps qu'elle favorise son développement. Ce qui se manifeste comme une évolution paradoxale s'exprime, de fait, par deux types d'offres. Les opérateurs télécoms entendent proposer un accès accru au cloud via la 5G, les fournisseurs de services de cloud font le chemin inverse et proposent, grâce à la 5G, des traitements en périphérie de réseau. Ils se présentent en partenaires clés des opérateurs de télécoms pour la 5G.

Compte tenu de l'accroissement rapide et fort des communications et des besoins associés de

traitement des données, la solution en périphérie de réseau tend à se développer. La 5G offrira des latences très faibles, dans la fourchette [1ms ; 10ms] avec une grande fiabilité, ainsi qu'une accélération du débit et de la bande passante. Cela favorise des échanges quasi instantanés entre un terminal (mobile, IoT) et un espace de stockage et de traitement distants (dans le nuage). Autrement dit, grâce à la 5G, le besoin de recours aux traitements en périphérie se réduit puisqu'il devient possible de continuer à les réaliser, grâce à la quasi absence de délais de transmission, sur un site de traitement distant mutualisé. Insistons : relativement à la performance exigée par les usages, la 5G permet de continuer à bénéficier des avantages du cloud, et réduit réciproquement le besoin de mise en œuvre de traitements complémentaires en périphérie (edge). Les opérateurs télécoms¹¹ peuvent à juste titre vanter les mérites d'un cloud qui, grâce à eux, préserve la maîtrise des données par les usagers.

Les fournisseurs de services de cloud¹² quant à eux comptent bien s'appuyer sur le déploiement du réseau 5G pour offrir des services de 5G en edge. En pratique, les services qu'ils fournissent s'appuient déjà largement sur la virtualisation, technique classique en matière d'informatique à distance. La 5G constitue donc une opportunité stratégique à portée d'investissement sans difficultés ni risques particuliers pour eux. Les plateformes de cloud dominantes proposent dès aujourd'hui une offre de 5G pour des services en périphérie de réseau : AWS Wavelength et Wavelength Zones pour Amazon, avec l'opérateur Verizon aux Etats-Unis ; Azure Edge Zones et Azure Private Edge Zones, pour Microsoft, avec les opérateurs AT&T, NTT Communications, Telefonica ou Vodafone Business ; Global Mobile Edge Cloud (GMEC) pour Google Cloud Platform (GCP) et Anthos for Telecom, avec AT&T pour la 5G. Ces nouvelles prestations favorisent le rapprochement avec les besoins réels des clients (dont les opérateurs). Avec cette offre, les fournisseurs de services de cloud gagnent une maîtrise nouvelle de ce maillon essentiel de

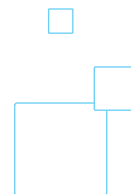
performance du réseau qu'est le traitement du signal radio. Les interactions entre les antennes relais et les objets et machines mobiles opèrent comme échangeurs et pourvoyeurs d'immenses volumes de données (réseaux). Leur optimisation devient un nœud de performance, qui se prête parfaitement à de l'apprentissage artificiel. Ces mêmes sociétés réalisent en la matière de gigantesques investissements, et disposent maintenant d'une certaine avance. Pour les *hyperscalers*¹³, la maîtrise de la périphérie au regard de la localisation des traitements de données des applications devient un puissant outil de connaissance du monde réel, ici, du fonctionnement des réseaux mobiles. Ce maillon de la chaîne de valeur des données, l'optimisation du fonctionnement des réseaux 5G, va par conséquent être investi par ces mêmes sociétés informatiques. Ajoutant cette nouvelle 'corde à leur arc', elles renforcent leur pouvoir de marché.

La concurrence nouvelle entre opérateurs télécoms et fournisseurs de cloud les incite à initier des accords entre eux, spécialement en matière d'edge computing. Selon ces accords, les opérateurs télécoms entendent gagner un accès à une compétence informatique de pointe, présente chez les plus grands CSP. Ces accords supposent le partage d'une valeur pour le moment très imparfaitement connue, y compris des futures entreprises utilisatrices, qui seront les véritables créateurs de valeur via la plateformes associée à la 5G. Parmi les principaux usages évoqués, citons l'intérêt pour la conception, l'élaboration et la mise en œuvre de jumeaux numériques dans de très nombreux domaines, afin de profiter de l'informatique prédictive. Les applications dans le domaine de la santé humaine en sont un exemple. Plus généralement, une exploitation efficace des données industrielles présuppose des latences faibles que la 5G et l'edge computing combinés favoriseront nettement.

11- Cf. par exemple, <https://www.orange-business.com/fr/mediatheque/livre-blanc/edge-computing-re-distribuer-puissance-informatique-et-etendre-frontieres>
12- Amazon AWS, Microsoft Azure ou Google Cloud sont les trois principaux, et représentaient respectivement, fin 2020, 33%, 20% et 7% des parts de marché mondial. Soit 60% à eux trois.

13- Les trois entreprises précédemment citées font partie d'une vingtaine de sociétés qui, à l'échelle mondiale, correspondent à la définition. L'hyperscale est un terme d'informatique qui qualifie la capacité d'une architecture à évoluer de manière juste et efficace à un accroissement de demande. Les hyperscalers sont des entreprises qui offrent ce type de service, pour de l'informatique en nuage en particulier.

2 DES PLATEFORMES MÉTIERS ENRICHIES EN 5G



L'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse (ARCEP) définit trois grandes familles d'usage de la 5G, d'un point de vue technique¹⁴. Ce découpage respecte aussi l'idée d'une progressivité dans le temps des niveaux d'usage, lorsque l'on passe de la première (eMBB) à la troisième (uRLLC). Le haut débit mobile amélioré (nommé eMBB¹⁵, selon le sigle anglais consacré) correspond aux applications et services qui nécessitent une connexion plus rapide, par exemple pour la ultra haute définition (8K), la réalité virtuelle ou augmentée. Viennent ensuite les communications massives entre machines (mMTC¹⁶) ; cette famille regroupe principalement les usages liés à l'Internet des objets. Ces services nécessitent une couverture étendue, une consommation énergétique contenue et des débits relativement restreints. Enfin, les communications ultra-fiables et à faible latence (uRLLC¹⁷) correspondent aux applications nécessitant une réactivité extrêmement importante ainsi qu'une très forte garantie de transmission du message. Cette grille de lecture des usages repose sur la capacité du réseau à remplir certaines fonctions avec une efficacité croissante. En avoir connaissance a pu s'avérer utile aux *business developers*, aux entrepreneurs et innovateurs et aux décideurs publics. Si cette projection à caractère technique a pu remplir sa fonction dans une première phase, à présent, l'appropriation socio-économique devient l'enjeu majeur et reposera sur l'exposition pédagogique de cas d'usages convaincants. Nos travaux se sont attachés à produire une réflexion à ce propos et à proposer une recension de certains cas d'usage.

2.1

DES CONTEXTES D'USAGE À HAUTE VALEUR AJOUTÉE

Des activités collectives à haut niveau d'expertise, tel un travail d'équipe spécialisé opérant en temps réel à distance, nécessitent des échanges d'une extrême précision spatio-temporelle, avec de hauts niveaux de sûreté et de sécurité de fonctionnement. Voici le type de situation qui vient à l'esprit lorsqu'on imagine un usage abouti de la 5G. De tels usages, sur des réseaux non publics assez flexibles et puissants pour répondre à la demande (on demand), qui mobilisera l'ensemble des applications métiers ad hoc, ne seront probablement pas accessibles avant 2025. Et, y compris en 2025, il est fort peu probable qu'ils constitueront une part substantielle de la demande. Reste donc, d'ici là, une variété d'activités à caractère plus ou moins collectives « plus standards ». Sans appropriation par suffisamment d'utilisateurs privés, individuels, les seuils économiques de rentabilité seront difficiles à atteindre. Sans rentabilité suffisante avec la version transitoire de la 5G, i.e. la « 4G++ », pour des utilisations communes bénéficiant d'une vitesse supérieure, les applications de pointe, dans les contextes d'usages à plus haute valeur ajoutée, seront compromises.

Les contextes d'usages à haute valeur ajoutée autorisés par la 5G seront coconstruits en B2B (clients-fournisseurs/opérateurs) au cours des prochaines années. Des écosystèmes spécifiques organisés autour des chaînes de valeur des données concernées auront à s'organiser. Le potentiel de changement technique associé à la 5G se matérialisera par l'appropriation qu'en feront les écosystèmes, avec leurs spécificités.

14- Les enjeux de la 5G, ARCEP, mars 2017.

15- Enhanced Mobile Broadband

16- Massive Machine Type Communications

17- Ultra-reliable and Low Latency Communications

Que l'on pense à la téléchirurgie, à certaines fonctionnalités du véhicule autonome et connecté – y compris dans une version transport de masse –, des opérations de maintenance ou de production dans des sites industriels, à certaines fonctions fournies par des villes au cours de leur transformation en « villes intelligentes ».

Les choix techniques qui s'offrent aux entreprises souhaitant tirer parti dans leurs processus industriels des possibilités ouvertes par les réseaux avancés (en termes de débit élevé à haut niveau de sécurité et de capacités pour ce faire en simultané) sont donc plus étendus qu'avant. In fine, les choix s'effectuent à partir d'une évaluation qui tient compte des spécificités métiers en matière de type et de vitesse de circulation des données et du surcroît d'efficacité associés aux investissements nécessaires. L'économie et les besoins d'une clinique privée réalisant certaines opérations chirurgicales sont peu comparables à ceux d'un réseau opérant des Utilities (infrastructures publiques ou privées) d'électricité, de gaz, ou d'eau.

2.2

UN NOUVEAU STADE DE FLEXIBILITÉ DE LA PRODUCTION

L'adoption de la 5G dans les usines manufacturières pourrait contribuer à élever le niveau de flexibilité de la production, en rendant les ateliers plus rapidement reconfigurables en fonction des contraintes de production. La 5G permettrait ici de réduire drastiquement le nombre de câbles, les communications en nombre et en niveau requis s'effectuant alors par le réseau mobile. Les équipements peuvent être alors reconfigurés plus facilement et rapidement aux nécessités des changements dans les lignes de production. Cette voie d'exploitation des technologies mobiles (4G++ et 5G) avec le NPN sans-fil ouvre en retour des perspectives de business nouveaux pour les Utilities au service de leurs clients qui sont des sites de production industriels. Ainsi, le savoir-faire spécifique et les compétences techniques en matière d'installation des câblages industriels (ou pour les réseaux urbains) pourraient être mobilisés

pour faire levier via la 5G. De nouveaux services à haute valeur ajoutée pourraient être proposés aux entreprises clientes. Par exemple, lorsque cela a du sens, elles pourraient remplacer les câbles par du réseau 5G.

Les NPN de la 5G peuvent favoriser le développement de services nouveaux pour les acteurs en place, qu'ils soient opérateurs ou entreprises d'infrastructures (utilities). Orange n'est pas seulement opérateur de réseaux mais aussi intégrateur de solutions dédiées sur des réseaux privés, et aussi opérateur d'infrastructures.

2.3

UNE VOIE VERS L'E-SANTÉ

La plupart des dispositifs médicaux verraient leur fonctionnement nettement amélioré grâce à la connectivité et à la numérisation supplémentaire promise par la 5G. Ainsi, les ambulances et leurs équipements embarqués sont à convertir afin d'améliorer la prise en charge du patient. Cet upgrade numérique des équipements et de l'ambulance ne donnera leur plein potentiel que si le patient lui-même (via son dossier médical) et l'infrastructure routière et urbaine sont aussi numérisés. Au sein du système de soin et de santé, les nécessités de partage de données des patients sont immenses. Le potentiel de transformation du système de soin grâce au numérique, dont ici l'appropriation de la 5G par les acteurs de la santé, en est d'autant plus grand.

Des infrastructures médicales 'dopées' par la 5G sont susceptibles de contribuer, via l'apprentissage artificiel (IA), à améliorer les modélisations utilisées en diagnostic et en chirurgie par exemple. Chaque catégorie de données de santé appelle des conditions de partage, de stockage, d'hébergement et de traitement qui varient selon des exigences de sûreté et de sécurité propres. La conformité avec la loi (RGPD) s'impose. Si ces exigences sont respectées, les données de santé constituent un matériau d'apprentissage massif et d'excellente qualité. Par conséquent, si se structurait et s'organisait une chaîne de valeur des données de santé, les modélisations pourraient

être mieux calées et donc être plus performantes. La difficulté inhérente à l'élaboration de ces accords qui clarifient, pour un métier donné, la place des différents intervenants au regard de leur maillon d'intérêt, représente donc aussi un frein à l'appropriation de la 5G.

A l'échelle nationale, la stratégie « Ma santé 2022 », lancée en septembre 2018 par le président de la république, cherche à tirer le meilleur parti des technologies numériques pour améliorer le système de santé. La composante numérique de la feuille de route de « Ma Santé 2022 » a été présentée en avril 2019 ; elle reconnaît l'importance primordiale de la connectivité pour le partage des données utiles et les limites d'une approche traditionnellement trop centralisée. Sans la multiplication des collaborations avec des entreprises technologiques et les opérateurs télécoms, le développement d'équipements médicaux de dernière génération '5G-ready', satisfaisant les besoins contemporains et futurs, sera bridé.

Le Dossier Médical Partagé (DMP), carnet de santé numérique du patient, contient l'historique des soins alimenté automatiquement par l'Assurance Maladie ; la liste des pathologies et allergies éventuelles ; les traitements médicamenteux et soins ; les comptes rendus d'hospitalisation et de consultation ; les résultats d'examens ; les directives anticipées pour la fin de vie et autres. Son ergonomie logicielle est améliorée progressivement pour pouvoir intégrer des résultats d'applications métier, la consultation de l'imagerie médicale, le carnet de vaccination, etc. La liste ne cesse de s'allonger. De même que s'est considérablement allongée la liste des médecins et des établissements de santé qui l'alimentent, et qui le consultent.

Les professionnels demandent la possibilité d'accès par défaut aux données du DMP dans des circonstances d'urgence. A l'instar de ce qui existe pour la transplantation d'organe, où il est demandé aux personnes d'exprimer leur objection (opt-out). Jusqu'à présent, seule l'authentification directe par la Carte de Professionnel de Santé (CPS), très

peu utilisée dans les établissements hospitaliers, permet l'accès aux données du patient. En plus du consentement par défaut pour certaines circonstances, des méthodes alternatives d'accès, par authentification indirecte, seraient utilement mises en œuvre rapidement.

Le déploiement de la 5G fait donc naître des attentes pour les applications de l'e-santé. Tout l'écosystème concerné, patients compris, expriment une forte demande de sécurisation des accès et usages des données qu'il est nécessaire de partager. Ainsi, dans l'intérêt thérapeutique du patient, rapidité et fiabilité constituent des prérequis. Si les gains en rapidité et en fiabilité représentent des facteurs favorables à l'adoption, des gages restent à produire en matière de sécurité. L'atteinte d'un haut degré de confiance en la sécurité du nouveau système, qui combine virtualisation, cloud et *edge*, demeure enjeu majeur de diffusion de la 5G.

Le niveau de confiance du grand public dans les applications en e-santé reste bas. En France, le consentement n'est pas accordé facilement. En a attesté la diffusion réduite de StopCovid¹⁸, sur fond de doute exprimé quant à la sécurisation des échanges, et bien que l'application ait été développée par le gouvernement.

L'adoption quasi-généralisée de solutions de stockage (et de capacité de calculs et d'applicatifs) en nuage par les entreprises constitue, de fait, un risque pour les opérateurs télécoms en place en Europe. La virtualisation sur laquelle repose la 5G autonome pousse dans le sens d'une évolution vers les offres d'Amazon, de Microsoft et de Google (voire d'Alibaba). Les fournisseurs de services de cloud utilisent la 5G en complément aux autres ressources mutualisées déjà proposées.

L'emploi généralisé de la 5G dans le système de soin, en synergie avec le développement de la médecine des 4P¹⁹, va permettre de développer la télémédecine, de pouvoir faire certains examens à distance voire certaines opérations à distance. Le paragraphe intitulé Villes intelligentes « à spécialisation choisie » ci-dessous présente

18- La version 2, TousAntiCovid a fait mieux.

19- La médecine des « 4P », pour personnalisée, préventive, prédictive, participative. Cf. par exemple, la présentation qu'en fournit le LEEM, syndicat professionnel des entreprises du médicament : <https://www.leem.org/la-medecine-vision-daujourd'hui-et-de-demain>

à l'échelle d'un territoire urbain, Rennes en l'occurrence, un cas d'application où la 5G change fondamentalement le parcours de soin. Au-delà d'un unique territoire, un large déploiement de la 5G rapprochera la médecine spécialisée des territoires défavorisés²⁰, diminuera l'errance diagnostique, évitera des déplacements inutiles aux personnes à mobilité réduite qui parfois se privent de soins à cause de la difficulté d'accès aux soins, permettra un diagnostic précoce ne serait-ce que grâce à une orientation plus rapide vers des spécialistes pouvant être consultés à distance. La 5G facilitera aussi le pilotage à distance de machines délocalisées, ce qui réduit la nécessité d'une présence continue d'un spécialiste sur place.

2.4

L'OUVERTURE NÉCESSAIRE AUX DEVOPS DE L'E-SANTÉ

Les qualités intrinsèques de la 5G la rendent attractive aux yeux des acteurs de la santé. Pour le moment toutefois, cette technologie peine à attirer la communauté des développeurs d'applications. Or, cette communauté jouera un rôle décisif pour l'appropriation de la 5G. Le grand public demandera de la 5G à proportion de l'offre d'applis qui sauront tirer le meilleur parti des temps de latence réduits, de la précision et de l'exigence de sécurité des échanges au vu de leur vitesse. Les développeurs doivent pouvoir compter, dès à présent, sur une grande souplesse dans l'utilisation de cette technologie. Cela doit devenir un outil communautaire pour les DevOps²¹ afin que se développent des microservices²² sur des plateformes opérant en 5G aussi variés que possible.

Une réforme d'ampleur vers la e-santé, dont MaSanté 2022 représente certainement une composante clé, permettra de dégager de substantielles économies pour le système de santé. La transformation implique d'importants investissements. Nous manquons encore d'évaluations coûts/avantages de l'impact de la 5G pour les différents intervenants du système e-santé. Des notions comme le paiement à l'acte

ou le remboursement d'un parcours du soin caractérisent assez naturellement l'e-santé. La 5G pourrait faciliter la mise en œuvre de ces deux évolutions. Il pourrait être intéressant d'inverser la logique et de considérer ces modalités économiques et organisationnelles comme conditions d'accomplissement de l'e-santé en France.

2.5

VILLES INTELLIGENTES « À SPÉCIALISATION CHOISIE »

Comme cela transparait avec l'e-santé - où il reste beaucoup à faire -, la 5G, pour s'imposer, suppose une appropriation plus marquée et volontariste par les acteurs publics. Comme les générations de technologies de communication précédentes, la 5G fait partie des biens à « effets réseau » : son utilité, i.e. la valeur du service rendu, s'accroît comme le carré du nombre d'utilisateurs. Aussi sa large adoption par les collectivités locales, par les villes, produirait des effets tout à fait importants. Les villes y trouveraient une claire opportunité d'amélioration de la qualité de leurs infrastructures de connexion. L'échelle du territoire urbain constitue un lieu d'expérimentation (et de déploiement) idéal pour une technologie de services de connectivité. La ville demeure l'espace de connexion par excellence, l'essentiel des aménités du territoire urbain relevant in fine de cette capacité de mise en relation. Aussi la plateformes des services publics à cette maille territoriale semble un horizon souhaitable ; la 5G, technologie de proximité. Soulignons que ce passage à la 5G créerait en outre les conditions de renforcement de la plateformes au service de la collectivité, selon une logique de circuits courts (Cf. Pour une politique industrielle du numérique, ANRT, 2018 ; Prix et valeur des données dans la plateformes numérique, ANRT, 2019).

Le projet européen 5G-TOURS²³ entend démontrer la capacité de la 5G à fonctionner efficacement lorsque plusieurs thématiques d'usages - médias, santé, mobilité, etc. - sont mobilisées simultanément sur la même infrastructure.

20- Point sur lequel M. Mollo, Dir. médical France de Pfizer a mis l'accent lors de plusieurs réunions, notamment le 12 février 2020.

21- DevOps, de software development (Dev) and IT operations (Ops); ingénieurs informatiques qui s'occupent à la fois du développement logiciel (dev) et de l'administration des infrastructures (ops).

22- Les informaticiens parlent d'architecture de microservices pour expliquer que les applications qui en procèdent sont organisées comme des ensembles de services faiblement couplés. Les services sont organisés autour des capacités business. Ces services utilisent une variété de langages de programmation, de bases de données, d'environnements matériels et logiciels selon ce qui est le plus pertinent.

23- 5G-TOURS est un projet financé par le programme cadre européen H2020, il fait partie de la catégorie 5G-PPP. Les entreprises membres du consortium européen sont indiquées à cette adresse <http://5gtours.eu/> ; parmi les participants à FutuRIS et au groupe de travail ayant contribué à ce rapport, citons Orange, Nokia, Nokia Bell Labs, Philips et Atos.

Encadré 3 – 5G-TOURS, le démonstrateur qui utilise la plateforme architecturale de validation européenne de la 5G

L'architecture 5G pour 5G-TOURS s'appuie sur la plate-forme 5G-EVE (sigle signifiant 5G European Validation platform for Extensive trials), un équipement précommercial conforme à la dernière version de 3GPP. 5G-EVE est la plateforme européenne de validation 5G pour les essais approfondis. A noter, il s'agit de l'un des trois projets d'infrastructure PPP 5G lancés le 1er juillet 2018. L'objectif est de mettre en œuvre et de tester des infrastructures 5G avancées en Europe.

Plus précisément, 5G EVE doit poser les bases d'un large déploiement des réseaux 5G de bout en bout en Europe. Tous les expérimentateurs 5G trouveront en EG-EVE une installation 5G de bout en bout qui leur permettra de valider leurs KPI et services réseau.

Fournir des solutions de réseau 5G fiables de bout en bout est crucial pour tous les acteurs de la chaîne de valeur 5G, qu'il s'agisse des opérateurs de réseau et les fournisseurs, des industries verticales, ou des PME.

La 5G-EVE développera et interconnectera quatre sites européens existants pour créer une installation 5G de bout en bout unique. Les quatre sites d'interfonctionnement sont situés en Grèce, en Espagne, en France et en Italie. Ils sont complétés par des laboratoires avancés, par ex. le laboratoire Ericsson à Kista, en Suède. L'installation sera proposée aux industries verticales pour l'exécution et la validation des pilotes. L'accès se fera via une API fonctionnelle et opérationnelle unifiée.

L'installation de 5G EVE de bout en bout permettra l'expérimentation et la validation avec des ensembles complets de capacités 5G. Ils seront initialement conformes à la version 15 et à la fin du projet, ils seront conformes à la version 16 des spécifications 3GPP.

Sources : D'après les sites <https://5gtours.eu/architecture/> et <https://5g-ppp.eu/5g-eve/>

La plupart des municipalités n'ont pas à choisir entre services de santé et mobilité urbaine, qualité du réseau électrique et ramassage des ordures, etc. Leur mutation en 'ville intelligente' / smart city peut se faire via une dominante pilote. Là encore, cette dominante va dépendre des caractéristiques identitaires de la ville et d'un choix de développement. Ainsi, au sein de 5G-TOURS, démonstrateur grandeur réelle de la 5G en Europe, se mettent en place plusieurs options. Regroupés en 3 cas d'usages correspondant à des systèmes urbains, 5G-TOURS comprend 13 illustrations au total²⁴.

La smart city peut être « touristique ». Athènes s'attache à développer des services qui fournissent une expérience de tourisme augmenté en s'appuyant sur la 5G. Les fonctions attendues de l'adoption de la 5G par la ville concernent la

téléprésence, l'assistance à la visite de musée grâce à un robot-guide, les services de distribution de vidéo en haute qualité, voire la production de vidéo à distance et distribuée. Les visiteurs des musées et des attractions de plein air utilisent des applications basées sur la 5G pour améliorer leur expérience lors de la visite de la ville. Cela inclut des applications VR/AR (réalité virtuelle/réalité augmentée) pour compléter la visite physique avec du contenu supplémentaire, impliquant des communications tactiles interactives. L'expérience des visiteurs est également renforcée par des services assistés par robot, la téléprésence pour permettre des visites à distance, ainsi que des événements en direct activés par les communications mobiles tels que des concerts à plusieurs.

24- La présentation qui suit s'inspire de la présentation faite par Pascal Allain le 16 juillet 2020. Qu'il en soit remercié. Les erreurs ou omissions sont de la responsabilité de l'auteur.

La smart city peut être « sûre ». A Rennes, ont été développés le suivi de la santé à distance et la notification automatique de situations d'urgence, la téléguidance pour le diagnostic et le support aux interventions médicales, les salles d'opération sans fil, l'assistance à l'acheminement optimal des ambulances. La 5G peut contribuer au progrès de la qualité de prise en charge et des soins en ville en facilitant le suivi de santé, tout au long d'un parcours de soin : surveillance sanitaire pour la prévention et la détection précoce, diagnostic et intervention, ambulance, chirurgie, salle d'opération sans fil de l'hôpital (CHU de Rennes).

Le suivi de la santé à distance et les notifications de situations d'urgence en temps réel grâce à la 5G sont des portes d'entrée vers la médecine prédictive. C'est un enjeu majuscule pour les personnes âgées et les malades chroniques. L'informatique prédictive permet le repérage précoce d'évènements à l'origine d'une possible dégradation de l'état de santé d'un patient. C'est un changement fondamental sur la voie de la médecine des 4P avec de nombreux « bénéfiques patient » associés.

Avec la téléguidance pour le diagnostic et le soutien à l'intervention, l'acheminement optimal des ambulances, et la salle d'opération sans fil, les réseaux de 5G favorisent la continuité de la chaîne de traitement du patient, et son optimisation. L'ambulance devient la première pièce de l'hôpital. C'est dans l'ambulance que sont prises les premières mesures à l'appui du diagnostic, avec un accès à distance et en temps réel au médecin ou au chirurgien, et que les éléments essentiels du contexte exact sont partagés avec le médecin ou le chirurgien. Par exemple, grâce à l'usage sur place d'un dispositif à ultrason, dont l'interprétation en temps réel est laissée au médecin interne, voire au futur intervenant en salle d'opération, une fois le malade acheminé par la route la plus rapide à l'hôpital le plus à même de traiter le patient. L'accès à l'expertise distante constitue un effet pertinent de la 5G, susceptible d'avoir un impact majeur sur l'efficacité de la prise en charge médicale.

L'IRT b<>com ²⁵ participe au projet de salle d'opération sans fil. Faire communiquer de manière fluide les technologies très variées qui sont mobilisées dans un bloc opératoire représente un enjeu central. Selon l'approche adoptée par b<>com, la 5G fait fonction de standard d'interopérabilité pour la communication entre les équipements (souvent produits par différents constructeurs).

La smart city peut être à « mobilité intelligente ».

Athènes développe des services de gestion intelligente des parkings d'aéroports, une circulation des véhicules améliorée par la vidéo, une réactivité accrue pour l'évacuation d'urgence des aéroports, des excursions en bus 'enrichies' grâce à la réalité augmentée et à la réalité virtuelle. Tous les déplacements vers et dans la ville sont rendus plus efficaces et plus confortables par l'utilisation de la 5G. Cette ville 'plus intelligente' suppose la collecte d'informations et leur exploitation et traitements pour améliorer les systèmes de navigation ainsi que le stationnement. Grâce à la AR / VR, les passagers des transports publics bénéficient d'un plus grand confort. La 5G offre aux exploitants des aéroports les moyens d'opérer leur mutation vers des espaces d'une fluidité logistique supérieure.

Les exemples qui précèdent soulignent l'emploi plus développé de la réalité augmentée et de la réalité virtuelle, avec la 5G. Utilisées de manière complémentaire, ces applications enrichissent les capacités d'appréhension du réel du médecin, du spécialiste ou du chirurgien. Elles deviennent cruciales en médecine en temps réel pour enrichir l'expérience du médecin, et facilitent et améliorent la formation et la préparation des opérations. Par la formation et par l'apport d'équipements appropriés, le bouquet des tâches dont sont responsables les infirmières peut aussi évoluer vers des apports plus qualitatifs.

2.6

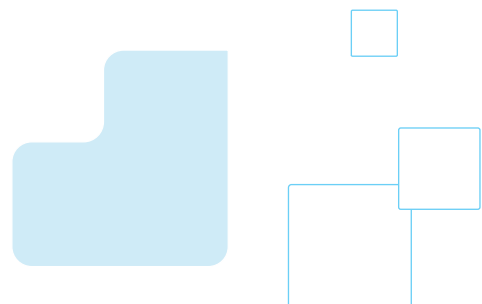
EN PROFONDEUR, DEUX POINTS D'ATTENTION

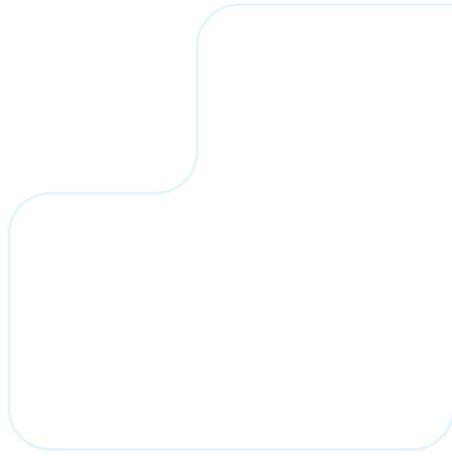
Ces évolutions vont rendre possible le recours à l'expert à distance dans des conditions se rapprochant de celles habituelles susceptibles

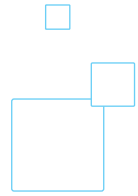
25- <https://b-com.com/fr>

de lui permettre d'exercer son expertise. L'expert pourra avoir accès, où qu'il soit, à un contexte enrichi de l'évènement, sur lequel il pourra porter son diagnostic à distance. Cette transformation profonde du métier de l'expert, avec des nuances propres aux spécialités, n'a pour le moment pas reçu l'attention qu'elle mérite. En particulier, les conséquences légales et réglementaires sont insuffisamment analysées et anticipées. Jusqu'où sa responsabilité peut-elle être engagée ? A quel point le protègent le contrat de travail et le contrat de prestation entre la société qui l'emploie et le client ? Quelle part l'emploi des supports technologiques jouera-t-elle alors pour l'établissement des protocoles d'assurance qualité ?

Enfin, des enjeux techniques demeurent pour la diffusion et l'appropriation de la 5G. Les cas d'usage cités mobilisent de gigantesques volumes de données, faisant très souvent appel à des images, à de la vidéo, très consommatrices de bande passante. L'exploitation des propriétés des ondes millimétriques dans des conditions industrielles acceptables devient alors centrale, leur maîtrise aussi. La densité du réseau en stations de base à petites cellules constitue donc un goulet potentiel de diffusion. Plus précisément, selon qu'il s'agira de zone urbaine ou de rase campagne, les réseaux d'antennes répondront à des contraintes différentes et donc le maillage s'adaptera. Les investissements financiers pour le déploiement de petites cellules pour mettre en œuvre la bande 26 GHz en dépendront aussi ; les cellules seront déployées uniquement là où elles seront nécessaires. Par exemple, s'il s'agit d'un hôpital, on peut imaginer un point d'accès par bloc opératoire. S'il s'agit d'une usine, le nombre de points d'accès nécessaire sera fonction de la surface et de la configuration de l'usine.







3 LA 5G ET L'ENJEU DE LA CONFIANCE DANS LA PLATEFORMISATION B2B

3.1

DES EFFETS SOUS LE SIGNE DE L'AMBIVALENCE

La 5G affecte la plateformisation à plus d'un titre, ce qui précède l'a amplement évoqué. Selon nos travaux, l'impact de la 5G sur les usages est médiatisé par la confiance. Son influence est caractérisée par deux effets de sens antagoniques, qui transforment simultanément la plateformisation et la 5G.

D'une part, le niveau de confiance que l'on peut accorder à un système, à un traitement réalisé, s'élève à proportion de l'usage de la 5G par la plateforme. La réduction considérable de la latence théoriquement offerte peut favoriser une accélération substantielle de la vitesse de calculs ; ainsi, la 5G permet de mobiliser des algorithmes de sécurité (chiffrements ou autres) plus puissants. Ses standards de communications sont considérés comme plus sûrs.

D'autre part, la 5G s'accompagne d'un risque sécuritaire accru. Sa diffusion dans un grand nombre de contextes d'échanges de données induit une augmentation de la surface d'attaque. Le processus de virtualisation va nécessiter, de la part des opérateurs des télécoms, des changements importants. La sécurité garantie par les opérateurs télécoms lors de communications par la 5G sera, de fait, une sécurité logicielle pour des logiciels. Donc plutôt du registre d'intervention des informaticiens, compétences techniques incorporées dans les équipements mobilisés par les opérateurs. Cette nouvelle donne en matière de cybersécurité se traduit par sa délégation vers les équipementiers grâce auxquels

opèrent leurs réseaux. La liberté d'action (contractuelle) et l'aptitude à l'action (compétences) des opérateurs réseaux vis-à-vis de leurs équipementiers seront cruciales. Dans quelle mesure les opérateurs pourront-ils tester, en adoptant le point de vue de leurs clients, la qualité des logiciels de sécurité embarqués dans leurs contrats 5G ? A quel point les solutions logicielles de cybersécurité sont-elles auditables par les opérateurs ? Les opérateurs sont-ils en mesure d'exiger l'auditabilité ? Pourront-ils mandater une organisation indépendante pour effectuer tests et vérifications ?

Que la 5G améliore la sécurité des usages ou, à l'inverse, qu'elle véhicule des risques plus grands en matière de cybersécurité, le développement de relations de confiance entre les parties prenantes demeure clé. L'appropriation de la 5G par les usagers va de pair avec le bouleversement des rapports entre les offreurs de technologies. Il y a coévolution des usages, de l'organisation industrielle et des technologies. La brique IoT, par exemple, reste fragile et susceptible de failles spécifiques²⁶ ; il convient donc de protéger la sécurité de données sensibles et potentiellement à très haute valeur. En matière d'organisation industrielle, qui reflète celle d'une chaîne de valeur en profonde reconfiguration, la fragmentation domine et cela risque de durer. Certains imaginent que la 5G pourrait jouer un rôle intégrateur et « fiabilisateur » de la donnée.

3.2

PLUSIEURS NUANCES DE TECHNOLOGIES DE LA CONFIANCE

Réduire l'analyse des interactions entre la 5G et la plateformisation à une problématique

26- Cf. <https://csrc.nist.gov/publications/detail/white-paper/2020/09/08/trusted-iot-device-network-layer-onboarding-and-lcm/draft>, par exemple.

de nature technique ne peut suffire. Tous les développements de ce texte l'illustrent, la question est économique autant qu'elle est technique. Parfois la technique bride la capacité d'accords entre parties prenantes de la chaîne de valeur des données ; parfois, l'économique freine la diffusion de réponses techniques adaptées. La confiance en tant que résultante de combinaison de choix techniques relève de plusieurs registres d'intervention.

L'APPROCHE PAR LES MÉTHODES RECONNUES, À L'ÉTAT DE L'ART, DE L'ENISA

Etablir la confiance nécessite l'adoption (et la maîtrise) des méthodes variées de sécurité au meilleur niveau de standard, méthodes elles-mêmes auditables. L'agence européenne de cybersécurité, l'ENISA²⁷ analyse et diffuse de telles règles. Parmi un riche répertoire de productions, citons :

Tour d'horizon des menaces pour les réseaux 5G (Threat Landscape for 5G Networks)²⁸ fait un état des lieux des menaces, au regard notamment des nouveautés introduites, en particulier en matière d'architecture de la 5G et de l'évolution des normes. Les sources de vulnérabilité et de menace sont listées de manière précise et exhaustive, et les caractéristiques de l'exposition des actifs de l'architecture sont spécifiées. Il fournit enfin un recueil de recommandations, adressées (1) aux décideurs publics à l'échelle européenne, (2) aux acteurs du marché de la 5G (fournisseurs, opérateurs de réseaux mobiles, opérateurs de services, organismes de normalisation, laboratoires de test 5G, etc.) et (3) aux organismes nationaux compétents dans le domaine de la cybersécurité 5G (par exemple les centres nationaux de cybersécurité, les régulateurs nationaux, les centres nationaux de test 5G, etc.). Les éléments suivants s'inscrivent dans la ligne suivie dans ce rapport. Ils méritent d'être notés. Ainsi, les vulnérabilités dans la couche de virtualisation peuvent entraîner des risques tels que l'accès non autorisé aux

fonctions et aux données. Les vulnérabilités connues de la virtualisation incluent :

- Des privilèges d'accès inadéquats dans les environnements virtualisés;
- Un système de gestion des clés inadéquat pour les composants virtuels cryptés;
- L'absence de mécanismes pour garantir une racine matérielle de confiance;
- Une technologie cloud utilisée pour la mise en œuvre de la virtualisation qui est fragile ;
- L'emploi de l'hyperviseur peut entraîner une contamination croisée des ressources partagées.

Parmi les recommandations, nous relayons celles-ci qui apparaissent les plus en phase avec le contenu de cette partie :

1. Il est essentiel que l'Union Européenne continue de faciliter la définition de normes de sécurité communes pour les réseaux 5G et ses cas d'utilisation en soutenant la coopération et le partage d'informations entre les États membres.
2. La prolifération des algorithmes d'IA ayant atteint des composants utilisés dans l'écosystème 5G, il est proposé d'évaluer l'exposition aux menaces de telles fonctions dans l'ensemble des composants de l'ensemble de l'écosystème 5G (appareils, logiciels, capteurs, actionneurs, etc.).
3. L'analyse des menaces a permis de montrer qu'il reste des travaux à faire dans le domaine du profilage des agents de menace 5G et dans l'identification des vecteurs d'attaque possibles. Même si un profilage complet est prématuré à ce stade, un tel travail est considéré comme une priorité pour les futures versions du paysage des menaces 5G, étant donné la disponibilité croissante d'informations sur les agents de menace et les vecteurs d'attaque.
4. La spécification de la 5G fournit une base solide pour la sécurité de l'ensemble du système. Néanmoins, le niveau de sécurité final dépendra fortement des pratiques

27- D'après son nom de création en 2004 : European Network and Information Security Agency.

28- ENISA Threat Landscape for 5G Networks Report, ENISA, Décembre 2020, https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-report-for-5g-networks/at_download/fullReport

de mise en œuvre / de codage. Le développement de bonnes pratiques et directives pour la mise en œuvre sécurisée des fonctions réseau est une étape importante vers le maintien du niveau de sécurité de la spécification dans la base de code résultante. De telles directives n'existent pas encore.

Encrypted Traffic Analysis²⁹ explore la situation actuelle en matière d'analyse du trafic crypté et discute spécialement des recherches et des méthodes dans 6 cas d'utilisation. Il s'agit des cas d'identification des applications, d'analyse du réseau, d'identification des informations utilisateur, de la détection des logiciels malveillants chiffrés, de l'empreinte digitale des fichiers / appareils / site Web / emplacement et de la détection du tunnel DNS. Le rapport discute des recherches récentes sur les pratiques TLS³⁰ et identifie les pratiques incorrectes courantes ; il propose des contre-mesures simples mais efficaces comme la validation et l'épinglage des certificats, la réduction du volume de données exposées sur les redirections HTTP, l'utilisation des clés privées appropriées et les dernières versions de TLS (c'est-à-dire 1.2 et 1.3), en insistant sur l'usage de certificats signés par une autorité de certification de confiance.

Advancing Software Security in the EU³¹ examine plusieurs éléments clés de la sécurité des logiciels et fournit un aperçu concis des approches et des normes existantes les plus pertinentes. Le document identifie certaines des lacunes fréquentes associées au développement de logiciel sécurisé. Ce rapport propose enfin des considérations pratiques concernant plusieurs aspects du développement de logiciels dans le nouveau cadre de certification de cybersécurité de l'UE et les systèmes de certification de cybersécurité de l'UE. Sur ce dernier point, trois mises en garde méritent d'être soulignées :

- Les systèmes de certification de cybersécurité de l'UE pour les produits,

services et processus devraient inclure, dans la mesure du possible, non seulement des exigences pour le produit / service / processus final, mais également l'assurance pour le processus d'ingénierie, en précisant des directives pour le développement, la maintenance et l'exploitation de logiciels.

- Au cours de l'élaboration des systèmes de certification de cybersécurité de l'UE, des méthodes d'évaluation de la conformité pour le niveau d'assurance de base devraient être considérées en réponse au paysage fragmenté du développement et de la maintenance des logiciels.
- Les développeurs de logiciels et les fabricants de produits devraient faire valoir leur expérience et leur expertise pour promouvoir l'adoption des systèmes de certification de cybersécurité de l'UE.

LES MÉTHODES LOGIQUES DE CONTRÔLE D'ACCÈS

Certains des problèmes de sécurité peuvent être résolus en segmentant les données, afin de garantir une architecture de droits d'accès sûrs. En pratique, cette composante spécifique de la résolution du problème de confidentialité/sécurité des données peut et doit être clairement expliquée à l'utilisateur (que l'on pense aux patients et aux professionnels de santé). Les méthodes de contrôle d'accès, logique ici en priorité, comprennent les mots de passe, les tokens ou jetons d'authentification, la double authentification par le mot de passe unique ou la biométrie sont bien connues. Elles sont la vitrine de la sécurité des plateformes, à laquelle ont accès les utilisateurs.

LA SÛRETÉ SELON LES OFFREURS DE SERVICES DE CLOUD

Une classe complémentaire de problématiques de sécurité nécessite une prise en charge par les ingénieurs en informatique en interaction avec l'écosystème des offreurs de services du cloud (CSP). Les données transitent par

29- https://www.enisa.europa.eu/publications/encrypted-traffic-analysis/at_download/fullReport

30- Le Transport Layer Security (TLS), est l'un des protocoles cryptographiques les plus courants pour garantir la sécurité des communications sur un réseau informatique.

31- https://www.enisa.europa.eu/publications/advancing-software-security-through-the-eu-certification-framework/at_download/fullReport

plusieurs CSP, qui devront partager des clés de chiffrement et d'autres caractéristiques des données. Sur toute la chaîne qui comprend la production, la variété des traitements, le partage des données, différentes techniques sont combinées afin de préserver la sécurité/confidentialité des données. Ces techniques comprennent, sans s'y limiter, la sécurité by design, directement incorporée au code source des composants et équipements et les chiffrements, dont le chiffrement fonctionnel, le chiffrement homomorphe, des techniques de calcul multipartite sécurisé, la conception et l'usage d'enclaves sécurisées. Avec des mots simples, Cosmian³², entreprise française de cybersécurité participant à notre groupe de travail, ces quatre techniques sont explicitées ainsi. Le chiffrement fonctionnel transforme les données cryptées en résultats en texte clair non sans demander un consentement mathématique sur les calculs ; le cryptage entièrement homomorphe opère un traitement sur données cryptées et les restituent en résultats cryptés ; le calcul multi-parties sécurisé permet le partage des calculs sans partage de données ; enfin, l'enclave sécurisée consiste à protéger les algorithmes propriétaires lors de l'exécution. Grâce à cette combinaison de techniques, sécurité préservée se combine avec possibilité d'exploitation et de traitements.

DE LA CONFIANCE COMME PRINCIPLE FONDATEUR : GAIA-X

Au-delà de cet ensemble de solutions locales à l'établissement et à la préservation de la confiance par une combinaison de techniques, une méta-solution a été développée en Europe par un regroupement d'entreprises. A l'origine allemande puis rapidement germano-française, la Fondation GAIA-X se propose de fournir ce type de contrat de confiance de bout en bout à l'échelle européenne. La fédération de clouds souverains regroupe entre 200 et 300 membres en ce début 2021, très majoritairement issus de l'écosystème du cloud (offreurs). Elle contient cependant

plusieurs importants clients usagers. Par la connectivité qu'instaure cette architecture commune entre les plateformes et certains contributeurs techniques spécialisés, l'objectif est « la souveraineté des données ». Cette fédération de clouds défend la promesse que les détenteurs des données y verront leur maîtrise totalement préservée. Parmi les principes auxquels adhèrent les membres de cette fondation, se retrouvent les valeurs européennes déclinées à l'informatique telle l'interopérabilité, la portabilité, la transparence, la protection et la sécurité des données. Ces principes sont regroupés au sein d'un socle de standards communs, sorte de plus petit commun ensemble d'exigences techniques. L'auditabilité nécessite d'être prônée comme règle à tous les niveaux de l'architecture, qu'il s'agisse de l'infrastructure ou des applicatifs. A ce stade, GAIA-X ne délivre pour ses membres ni certificat de conformité, ni label de qualité qui garantisse le respect des policy rules sur la base desquelles elle s'est constituée. GAIA-X bénéficie de plusieurs années de travail de l'Association International Dataspaces³³, créée par la Fraunhofer-Gesellschaft. Pour autant, des comités techniques impliquant ses membres sont à mettre en place pour construire collectivement les pratiques souveraines visées.

L'ambition de GAIA-X consiste à élaborer des standards de facto, fondés sur des principes reconnus par les principales entreprises industrielles du domaine. Cette quête d'un mieux-disant en matière de règles partagées par la profession entend participer à l'instauration d'une autonomie numérique à l'échelle européenne.

NORME INTERNATIONALE ET CODE DE CONDUITE EUROPÉEN

Toutes les plateformes cloud respectent les normes ISO/IEC 27001³⁴. Ce standard définit une méthodologie pour identifier les cybermenaces, maîtriser les risques associés aux données cruciales, mettre

32- Cosmian, <https://cosmian.com/> propose des services de « traitements collaboratifs confidentiels des données »

33- Cf. Le papier de positionnement de l'IDSA « GAIA-X and IDS », Janvier 2021. <https://internationaldataspaces.org/download/19016/>

34- Cf. <https://www.iso.org/fr/isoiec-27001-information-security.html>

en place les mesures de protection appropriées afin d'assurer la confidentialité, la disponibilité et l'intégrité des données. Ce standard international décrit les exigences d'un système de gestion de la sécurité des informations, spécifie les bonnes pratiques des acteurs et détaille la liste de contrôles de sécurité susceptibles de gérer les risques liés à l'information.

En outre, les plateformes entendent expliciter leur code de bonne conduite qui viendrait spécifier les prérequis, sous-jacents à l'auditabilité. L'Union Européenne a publié un code de bonne conduite à destination des CSP, le code de conduite cloud de l'Union Européenne³⁵ dont l'objet est de faire la démonstration du respect du RGPD, tout en explicitant le chemin à suivre pour ce faire. Ce code de conduite vise à permettre aux clients du cloud (PME, administrations) de déterminer si les services cloud proposés peuvent leur convenir. De plus, « la transparence créée par le code contribuera à un environnement de confiance et créera un niveau de protection des données par défaut élevé sur le marché européen du cloud computing. »

Par l'adhésion à des normes et codes de conduites internationaux, les CSP démontrent leur capacité et aptitude à respecter des règles protectrices de leur clientèle. Ainsi, Google Cloud suit la norme ISO 27001, Ali Baba fait partie des premiers adhérents au code de conduite de l'UE.

3.3

DU CARACTÈRE « PERSONNEL » DES DONNÉES À LA RECONFIGURATION DE LA CHAÎNE DE VALEUR INDUITE PAR L'ADOPTION DE LA 5G

Dès lors que les données revêtent un caractère personnel, le RGPD s'applique dans les pays membres de l'Union Européenne³⁶. En France, la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) est l'organe régulateur des données personnelles. Trois mots clés caractérisent

les traitements susceptibles d'être réalisés : consentement, finalité et responsabilité. Le responsable du traitement doit respecter les principes stipulés à l'article 5³⁷ et faire la démonstration qu'il les respecte au regard de la finalité du traitement. « La finalité du traitement est l'objectif principal de l'utilisation de données personnelles. Les données sont collectées pour un but bien déterminé et légitime et ne sont pas traitées ultérieurement de façon incompatible avec cet objectif initial. Ce principe de finalité limite la manière dont le responsable de traitement peut utiliser ou réutiliser ces données dans le futur. La gestion des recrutements, des paies, des clients, l'enquête de satisfaction, la surveillance des locaux sont des exemples de finalité. » A noter : « (...) le traitement ultérieur à des fins archivistiques dans l'intérêt public, à des fins de recherche scientifique ou historique ou à des fins statistiques n'est pas considéré, (...), comme incompatible avec les finalités initiales. »

Une chaîne de valeur de données correspond à l'enchaînement logique et économique des intervenants aux stades variés de leur transformation et traitements, propre à un métier spécifique. L'utilisation de données pour des exploitations par des algorithmes d'apprentissage artificiel n'est qu'un des maillons de ce cette chaîne, rarement le premier et vraisemblablement pas le dernier. C'est pourtant celui auquel une grande partie de l'attention est souvent consacré. Pourtant, avant même l'annotation (si nécessaire) des données qui précède l'exploitation, il existe des opérations de nettoyage, mise en conformité, vérification, garanties, pseudonymisation, etc. A chacun de ces stades de traitement correspond un maillon de la chaîne de valeur sur lequel sont positionnés des entreprises spécialisées. L'économie de la donnée se concrétise à l'échelle de ces maillons de la chaîne de valeur. La 5G contribue à instaurer de nouvelles conditions d'échanges de données industrielles et d'expression des expertises. Au-delà des traitements en masse, s'ouvre un champ d'analyse des données profondes,

35- Le code de conduite cloud de l'UE est le seul code qui a été rédigé en collaboration avec les autorités de l'Union européenne. Le Code a été développé en quatre ans de collaboration entre la Commission européenne, représentée par la DG Connect, et la communauté du cloud computing, y compris l'industrie. En outre, la participation et les conseils de la DG Justice et la contribution du groupe de travail «Article 29», qui représente les autorités nationales chargées de la protection des données, ont contribué au haut niveau d'expertise manifesté dans le code. <https://eucoc.cloud/en/home.html>

36- Le RGPD est le règlement général sur la protection des données, soit le « Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016, relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE (règlement général sur la protection des données) ».

37- <https://www.cnil.fr/fr/reglement-europeen-protection-donnees/chapitre2#Article5>

dans des univers hyper-riches mais clos et de proximité.

Répetons-le : propriété des données préservée et capacité d'accès aux données à des fins de traitement sont parfaitement compatibles. Des solutions techniques existent qui préservent les droits des propriétaires tout en permettant les traitements. Ce bouquet de solutions techniques, combinées, favorise l'établissement de la confiance. Ces solutions de confiance (sécurité, respect du caractère privé des données) méritent une présentation pédagogique, en particulier lorsque la 5G est impliquée³⁸.

Comme nous l'avons vu, la 5G autorise la création de réseaux non publics sans fils – l'entreprise utilisatrice « privatise » pour ses usages une partie du réseau « public » de l'opérateur. Conceptuellement, l'entreprise utilisatrice se transformerait alors en son propre opérateur mobile sur une zone géographique clairement circonscrite. Les trois grands hyperscalers l'ont bien compris qui développent une offre à destination de cette clientèle (cf. Partie 1). L'entreprise utilisatrice de son réseau 5G non public deviendra opérateur d'infrastructure de réseau 5G³⁹ ; elle peut alors obtenir un contrôle complet sur ses échanges de données. Dans la mesure où les données sont traitées de manière séparée de celles du réseau public, la protection la confidentialité des données liées aux processus et à la production devient théoriquement totale.

En même temps que les entreprises s'approprient la 5G, les chaînes de valeur des données concernées seront soumises à de profondes reconfigurations. En matière de sans-fil, le wifi est une technologie bien maîtrisée par les informaticiens, qu'ils soient 'maison', en régie ou en sous-traitance, qui connaissent depuis longtemps ses protocoles de sécurité. Lorsque du

sans-fil est opéré sur réseau non public de la 5G, ses enjeux de sécurité échappent a priori aux informaticiens pour échoir aux télécoms. Elle devient du registre d'action de l'opérateur. Si la sécurité des données passe chez les opérateurs télécoms, les entreprises clientes vont devoir s'ajuster et opérer des changements d'organisation et de compétences. En conséquence, les opérateurs en place vont avoir à développer un nouvel argumentaire auprès de leurs clients, qui explicitera les prérequis de la confiance. Les plateformes numériques opérant en B2C ont structuré toutes leurs offres, depuis l'origine, autour des gages et signes de confiance. Elles sont d'ores et déjà prêtes à émuler ces savoir-faire, en intégrant la 5G comme offre pour les entreprises.

La maîtrise des signes et gages de confiance, tels qu'ils les ont développés depuis l'origine avec leurs clients B2C, constituent des compétences distinctives des GAFAM. Cette compétence unique, qui repose sur la maîtrise technologique exceptionnelle de leur infrastructure, explique pourquoi entreprises industrielles et opérateurs européens ont choisi massivement, en 2020, ces mêmes GAFAM pour exploiter au mieux leurs données métier. Les accords de partenariat stratégiques entre Renault et Google Cloud⁴⁰, et entre Orange et Google cloud⁴¹, annoncés en Juillet 2020 en constituent deux illustrations⁴² :

- « Acteur reconnu de l'industrie 4.0, Groupe Renault développe depuis 2016 sa propre plateforme numérique pour connecter et agréger les données industrielles de 22 sites du Groupe dans le monde (représentant 76 % de la production des véhicules) et de plus de 2 500 machines. Ce nouveau partenariat avec Google Cloud vise, entre autres, à optimiser cette plateforme de gestion des données industrielles, qui demeurent la propriété du Groupe Renault.

38- Cf. déjà cité, ENISA Threat Landscape for 5G Networks Report, ENISA, Décembre 2020, https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-report-for-5g-networks/at_download/fullReport

39- Sans qu'elle devienne évidemment un opérateur au sens de l'ARCEP (article L.32 du code des postes et communications électroniques), qui désigne « (...) toute personne physique ou morale exploitant un réseau de communications électroniques ouvert au public ou fournissant au public un service de communications électroniques ». Rien d'ouvert au public dans un « réseau non public ».

40- Cf. <https://fr.media.groupe.renault.com/actualites/groupe-renault-et-google-cloud-partenaires-pour-accelerer-lindustrie-4-0-9afc-e3532.html>

41- Cf. <https://www.orange.com/fr/newsroom/communiqués/2020/orange-et-google-cloud-annoncent-un-partenariat-strategique-autour-des>

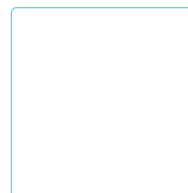
42- Les industriels et opérateurs français ne se distinguent toutefois en rien de leur partenaires européens ; pour les Allemands, on pourrait citer : Volkswagen and Amazon Web Services to develop Industrial Cloud, VW, 27.03.2019 et Google Cloud and T-Systems Announce Strategic Partnership for Cloud Innovation, T-Systems, 3.05.2020

Les solutions de Google Cloud et son expérience en smart analytics, en machine learning (ML) et en intelligence artificielle (IA), permettront au Groupe Renault d'améliorer notamment l'efficacité de sa chaîne d'approvisionnement et de sa fabrication, la qualité de sa production, et la réduction de l'impact environnemental par des économies d'énergie. Au-delà, cette collaboration favorisera la conception et le développement de nouvelles solutions qui pourraient, à terme, bénéficier à l'ensemble du secteur automobile. »

- « Le partenariat [entre Orange et Google Cloud] travaillera également sur le développement des futurs services d'edge computing dans le cadre de l'arrivée des réseaux 5G en Europe et de l'intégration de plus en plus forte du cloud dans les réseaux. L'edge computing permettra d'adresser les nouvelles attentes des clients et des entreprises demandant des services ultra-rapides, à faible latence, ainsi que la possibilité de traiter de grands volumes de données en temps réel. L'association des forces de Google Cloud et d'Orange permettra d'offrir des solutions d'edge computing flexibles et sécurisées aux marchés du B2B, du Wholesale et du B2C. Elles viendront enrichir les offres de connectivité avancée qu'Orange fournit à ses clients. »

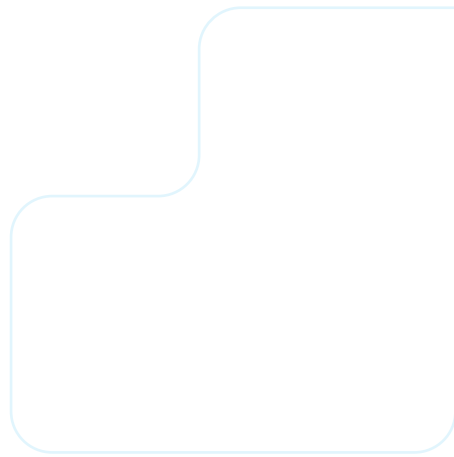
Ainsi, à la différence des prédictions sous-tendant les dernières évolutions législatives à l'échelle européenne⁴³ et inaugurées par la Communication « Une stratégie européenne pour les données » de février 2020 et en contraste avec nos propres anticipations⁴⁴, la plateformes numérique B2B de spécialité relève aussi du périmètre des GAFAM. Leur adhésion à la fédération de clouds européens GAIA-X en atteste.

Preuve de succès de GAIA-X selon ses promoteurs, Google Cloud (Google Ireland), AWS (Amazon Europe Core S.a.r.l au Luxembourg) et Azure (Microsoft NV) ont rejoint l'association. Alibaba Cloud et Haier Cosmo IoT Ecosystem Technology, et plusieurs autres géants américains de l'écosystème du cloud tels Palantir Technologies, Salesforce, Snowflake ou CISCO ont aussi adhéré. En avance très conséquente vis-à-vis de leurs concurrents européens, grandes entreprises industrielles, opérateurs et fournisseurs de services de cloud compris, les hyperscalers dominants ont fait de la 5G l'un de leurs outils de conquête. A moins d'une réaction collective et coordonnée, dont les règlements européens et les initiatives nationales pourraient être des déclencheurs, ce sont potentiellement des maillons clés de la chaîne de valeur des données industriels qui échappent aux entreprises européennes.

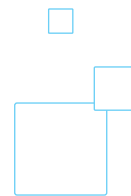


43- Cf. les deux règlements européens le DSA (Digital Services Act) et le DMA (Digital Markets Act), soumis par la Commission au Conseil et au Parlement Européens en procédure ordinaire le 15 décembre 2020.

44- Cf. Valeur et prix des données dans la plateformes numérique, ANRT, octobre 2019.



4 ENSEIGNEMENTS ET QUESTIONS OUVERTES



4.1

« CLOUDIFICATION » N'EST PAS PLATFORMISATION

L'attention spécifique portée au caractère transformant de la 5G sur les chaînes de valeur des données a mis en exergue une distinction essentielle : la tendance forte des entreprises industrielles à recourir aux fournisseurs de services de cloud (CSP) pour la numérisation d'un nombre croissant de leurs processus ne doit pas être confondue avec la plateforme elle-même.

L'exploitation de la 5G par une entreprise pour garantir ses propres services de proximité, nous l'avons vu, fait d'elle un opérateur d'infrastructure. La 5G peut donc constituer, si l'entreprise industrielle se l'approprie, un vecteur de sa propre plateforme ; en ce sens, elle s'accompagnera d'une transformation de ses interactions avec son écosystème (B2B, B2C et B2G⁴⁵). La capacité des principaux fournisseurs de services de cloud à offrir des services de 5G, en association avec des opérateurs, n'est qu'une incidente de leur extrême domination du marché.

La plateforme numérique suppose au premier chef un changement délibéré d'organisation industrielle, une reconsidération de ses propres chaînes de valeur et de la place qu'y jouent relativement les données. Selon la place de l'économie de la donnée pour l'entreprise, les relations qu'elle doit s'attacher à nouer avec son écosystème varient. C'est une décision stratégique d'organisation qui relève du modèle d'affaires (business model) de l'entreprise. Que cette dernière ait recours, pour une partie de cette transformation numérique, à de l'IaaS, Paas, et du SaaS⁴⁶ voire à la 5G-MEC des *hyperscalers*, ne règle pas la question. D'autant que ces

derniers ne sont pas les uniques fournisseurs des offres de services de cloud. A côté d'Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure et Google Cloud Platform, qui sont des fournisseurs d'infrastructure, des éditeurs de logiciel offrent, sur le cloud, de services comparables : systèmes d'exploitation, bases de données, sécurité et autres applications variées. SAP, Salesforce ou The Apache Foundation. Il peut s'agir d'offres de SaaS ; l'infrastructure sous-jacente peut être détenue et gérée par l'éditeur de logiciels lui-même, ou il peut avoir des contrats avec un fournisseur d'infrastructure. Dans certains cas, l'éditeur de logiciels utilise une combinaison de serveurs détenus et loués. Par exemple, Heroku⁴⁷ de Salesforce, un produit PaaS, fonctionne sur la base de l'IaaS d'Amazon (AWS). Ainsi, lorsqu'une entreprise achète une licence Heroku, l'utilisation d'AWS par Salesforce est incluse dans le prix. Dans le cas où une offre PaaS ou SaaS utilise sa propre infrastructure, il est probable qu'elle devra être en mesure de s'intégrer aux produits gérés par les fournisseurs d'infrastructure au fur et à mesure de sa croissance, et pour s'étendre à de nouvelles régions, elle devra passer des contrats avec des fournisseurs d'infrastructure.

La 5G se trouve sur la voie de la plateforme pour les entreprises industrielles en Europe. Grâce à la 5G, elles vont pouvoir tirer le meilleur parti de leur IoT, et ainsi redéfinir certaines chaînes de valeur des données, optimiser certains processus, et créer plus de valeur. Toutefois, cette transformation business ne dépend pas uniquement de la performance ou de l'autonomie des entreprises de cloud européennes. La politique industrielle du numérique encourage d'abord, grâce à des conditions-cadres propices, l'établissement d'accords entre entreprises d'un même écosystème métier. Seuls de tels accords sont susceptibles de garantir que les

45- B2B : business-to-business, relations inter-entreprises; B2C : business-to-consumer, relations entre les entreprises et leurs clients finals; B2G: business-to-government, relations entre les entreprises et les services de l'Etat.

46- IaaS : Infrastructure as a Service; PaaS : Platform as a Service; SaaS: Software as a Service.

47- <https://www.heroku.com/>

croisements de données de sources différentes favorisent la création de valeur. Soutenir le développement des fournisseurs de services de cloud ne va pas mécaniquement permettre une plateforme numérique bénéfique aux entreprises industrielles. Accentuer les efforts publics de soutien à la recherche technologique sous-jacente, par nature souvent public-privé, semble une piste plus solide. En effet, des points durs techniques demeurent pour lesquels des compétences distinctives fortes sont détenues par les acteurs européens.

4.2

DES DÉFIS TECHNICO-ÉCONOMIQUES À RELEVER

En ce début 2021, l'essentiel des discussions sur la 5G porte sur la vitesse de déploiement du réseau. Cette vitesse est considérée comme insuffisante : elle obérerait le développement des industriels de composants, d'équipements et d'infrastructures européens. Ainsi qu'elle empêcherait une appropriation significative par les usagers potentiels. Dans une telle ligne argumentaire, les opérateurs, qui n'investiraient pas assez, et les Etats, qui ne les soutiendraient pas de manière suffisamment dynamique, sont de manière implicite pointés du doigt. Il convient de dépasser cette analyse statique en s'intéressant aux problèmes actuels restant à résoudre, qui sont autant de chances pour les écosystèmes européens concernés. Ainsi, d'après nos travaux, deux domaines nécessiteraient encore une forte mobilisation en matière de recherche technologique.

D'une part, le plus fort impact de la 5G découlera d'améliorations dans le domaine des radiofréquences (cf. la quête des ondes millimétriques). Ainsi, en va-t-il par exemple des communications ultra-fiables à très faibles latences (uRLLC). Plus précisément, en pratique, l'uRLLC doit répondre aux principales exigences suivantes :

- Une latence 'over-the-air' inférieure à la milliseconde et latence de bout-en-bout de 5

ms entre l'équipement utilisateur et la station de base ;

- Un taux d'erreur sur les paquets inférieur à 10^{-5} ;
- Débits de données faibles à moyens et compatibles avec la mobilité à haut débit.

En matière de radiofréquences, des verrous restent à lever qui concernent chaque couche de l'infrastructure de la 5G ; nous pouvons citer (cf. participation du CEA-Leti au GT) :

- Actif connecté (-IoT) : accroître l'autonomie énergétique durable ;
- Terminal utilisateur : augmenter la capacité de connectivité et les débits de données ;
- Point d'accès : améliorer sensiblement les communications de moyenne-portée pour aller vers les très hautes performances (liens infrastructures et utilisateurs) ;
- Infrastructure : aller vers la haute capacité⁴⁸, qui implique en particulier une transmission haute puissance associée à un débit de données élevé ; ce sont des centaines de milliers d'unités qui devront être installées.

La présence d'un écosystème d'entreprises et de laboratoires publics de recherche de pointe sur ces domaines, qui seront aussi en première ligne pour la 6G⁴⁹, représente une chance à saisir pour l'Europe.

D'autre part, toutes les questions soulevées par la virtualisation associée au découpage du réseau 5G en « tranches non-publiques » ne sont pas résolues⁵⁰. Ces évolutions, parfois nommées deuxième vague du cloud computing, reposent sur la virtualisation des réseaux 5G. Les principales composantes techniques de l'architecture logicielle d'exploitation du réseau sont le Software Defined Networking (SDN), la Network Function Virtualization (NFV) et enfin le 5G-MEC (Mobile Edge Computing).

48- Une infrastructure est dite de haute capacité si elle supporte une latence de l'ordre de la ms et des débits compris entre 1 et 100 Gbps.

49- Ou sixième génération de téléphonie mobile.

50- Cf. Alcardo A. Barakabitze et al., 2020, "5G network slicing using SDN and NFV: A survey of taxonomy, architectures and future challenges", Computer Networks, 167.

Encadré 4 - 5G-MEC

L'informatique de périphérie multi-accès (MEC), anciennement informatique de périphérie mobile, est un concept d'architecture de réseau défini par l'ETSI* qui permet des capacités de cloud computing et un environnement de service informatique à la périphérie du réseau cellulaire et, plus généralement à la périphérie de tout réseau. L'idée de base de MEC est qu'en exécutant des applications et les tâches de traitement associées plus près du client mobile, la congestion du réseau est réduite et les applications fonctionnent mieux.

La technologie MEC est conçue pour être mise en œuvre au niveau des stations de base cellulaires ou d'autres nœuds périphériques, et permet un déploiement flexible et rapide de nouvelles applications et services pour les clients. Combinant des éléments de technologie de l'information et de réseau de télécommunications, MEC permet également aux opérateurs de services de télécommunications mobiles d'ouvrir leur réseau d'accès radio (RAN) à des tiers autorisés, tels que des développeurs d'applications et des fournisseurs de contenu.

Source : https://fr.qaz.wiki/wiki/Mobile_edge_computing. *ETSI : European Telecommunications Standards Institute

Ce changement de la 5G correspond au passage de plateformes matérielles à des plateformes logicielles. Sans entrer trop avant dans la technique, soulignons seulement quelques-uns des défis principaux si l'on se concentre sur le découpage du réseau 5G⁵⁰.

Il s'agit de simplifier la prise en charge simultanée de plusieurs services ou applications sur une même infrastructure grâce au découpage de réseau. Ce partage dynamique des ressources entre les différents locataires de tranches rend l'utilisation des ressources du réseau plus efficace. Mais il se heurte au problème de l'allocation des ressources entre ces tranches, problème traité par des algorithmes de planification intelligents. Là où les problèmes se compliquent encore, c'est qu'il y a une gestion nécessaire dans la tranche en plus de la gestion inter-tranches. D'autant que la pleine et entière efficacité du découpage réseau de la 5G nécessitera la résolution des problèmes liés au placement des fonctions de réseau dans une tranche, à l'orchestration de découpage ou au découpage des services entre domaines. D'après les auteurs de « *5G network slicing using SDN and NFV...* »⁵⁰, des recherches en informatique sont encore nécessaires sur ces aspects. Parmi les problèmes associés, il y a l'isolement des tranches entre elles, avec des exigences de performance et de qualité de service sur chaque tranche...indépendamment

de la congestion du réseau et des niveaux de performance des autres tranches. Pour finir, des développements et recherches complémentaires resteraient nécessaires en matière d'interfaces pour les flux d'informations pour fournir du « réseau en tant que service » à des tiers.

4.3

GAGNER, EN EUROPE, LA BATAILLE DES DONNÉES INDUSTRIELLES GRÂCE À LA 5G ?

Le groupe d'experts de haut-niveau constitué en 2018-2019 s'est penché sur les mécanismes de prix et de valeur des données dans la plateforme à l'échelle inter-entreprises (B2B). Le rapport de synthèse qui découlait de ces travaux aboutissait à trois résultats-clés pour la politique industrielle. Les deux premiers concernent directement la valeur des données dans les processus industriels, et ont une résonance en termes de stratégie d'entreprise. Le dernier a des implications politiques.

Premièrement, la condition initiale de création de valeur est l'établissement d'une compréhension commune des intérêts et sources d'avantages réels de chacun dans une chaîne de valeur de données métier donnée [«pas tous sur le même maillon»]. Cette condition résulte du constat empirique selon lequel la valeur des données est une fonction croissante des croisements dont

elles peuvent faire l'objet. Aucun producteur/ utilisateur de données métier ne dispose de la totalité des données qui lui seraient nécessaires pour optimiser ses propres processus, pour fournir la meilleure qualité de service, pour créer la valeur propre à sa spécialité.

Deuxièmement, la valeur des données est corrélée positivement à la protection que leur confèrent leurs usagers. La protection, si elle est seconde par rapport à la circulation, devient indispensable comme ingrédient de la confiance. Cette deuxième condition, qui complète la première, fait de la circulation vertueuse des données un préalable, et des efforts de protection une incidente et un investissement à haut rendement.

La compréhension approfondie de ces deux conditions, et de leurs conséquences pratiques, peut permettre de préciser l'attente à l'égard des politiques publiques. Le potentiel de création de valeur des données dépend ainsi d'une *platformonomics* à laquelle les politiques publiques doivent prendre part. En Europe en particulier, l'espace d'action commun reste largement à élaborer entre économie et droit de la concurrence dans le contexte de la plateformes. Le caractère autorégulé tant vanté par les plateformes structurantes ne peut faire l'affaire : conditions générales de vente et code de bonne conduite représentent des gages de transparence qui n'engagent que ceux qui les acceptent. Comme nous l'avons déjà souligné, ces gages de transparence s'accordent tout à fait avec des pratiques anticoncurrentielles. Par exemple, une entreprise qui privilégierait ses propres services ou produits au sein de son écosystème (autoréférence), ou encore une entreprise qui créerait des barrières à l'accès aux marchés numériques (comportements différenciés).

Seule la possibilité d'une procédure d'audit et la délivrance d'un certificat par une autorité compétente indépendante peut former le socle d'une garantie réellement protectrice. Intégrant au mieux les acquis du droit de la concurrence et de l'économie de l'innovation, la politique industrielle doit donc, selon nos travaux, contribuer à rendre auditable les plateformes.

La défense de l'intérêt général européen, et donc aussi bien de celui des entreprises que des consommateurs, a guidé le législateur européen. C'est ainsi qu'ont été présentés les deux règlements européens DSA (Digital Services Act) et DMA (Digital Markets Act) proposés par la Commission Européenne au Conseil et au Parlement Européens le 15 décembre 2020. Dit autrement (cf. la proposition pour le DMA⁵¹, Exposé des motifs, p.3) : « (...) la présente proposition [doit] permettre aux plateformes de libérer tout leur potentiel en traitant au niveau de l'UE les cas les plus marquants de pratiques déloyales et la faible contestabilité afin de permettre aux utilisateurs finaux comme aux entreprises utilisatrices de tirer pleinement parti de l'économie des plateformes et de l'économie numérique en général, dans un environnement contestable et équitable. »

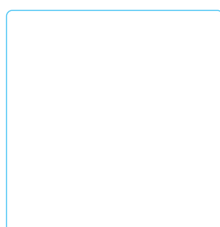
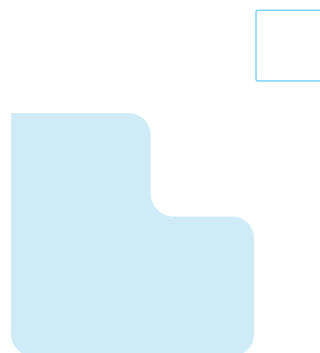
L'approche de la Commission se fonde sur la recherche d'une souveraineté technologique retrouvée sur l'industrie digitalisée par un ensemble intégré de mesures visant les plateformes structurantes. La grande nouveauté, en droit de la concurrence, consiste à tenir compte a priori du caractère très changeant des règles que se fixent à elles-mêmes ces grandes plateformes. Ainsi, le DMA définit les pratiques illégales dès le départ (ex ante) par opposition à l'examen des résultats des actions (ex post), comme toutes les règles antérieures régissant les marchés numériques le pratiquaient. Cela permet au régulateur de disposer d'une meilleure capacité d'intervention : plus dynamique, en avance de phase, et plus adaptative (différenciée), et à l'épreuve du temps. Le pendant répressif est inclus dès l'origine en concevant a priori les remèdes pour lutter contre les possibles infractions systématiques aux règles de la loi sur les marchés numériques.

Cette approche laisse cependant ouverte la question qui nous guide ici : dans quelle mesure ce nouvel environnement réglementaire constituera-t-il une force pour les entreprises industrielles européennes en voie de plateformes ? Dans quelle mesure l'avantage supposé en termes de données industrielles en Europe en sortira-t-il renforcé ? Les systèmes d'information industriels des entreprises

51- Cf. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?qid=1608116887159&uri=COM%3A2020%3A842%3AFIN>

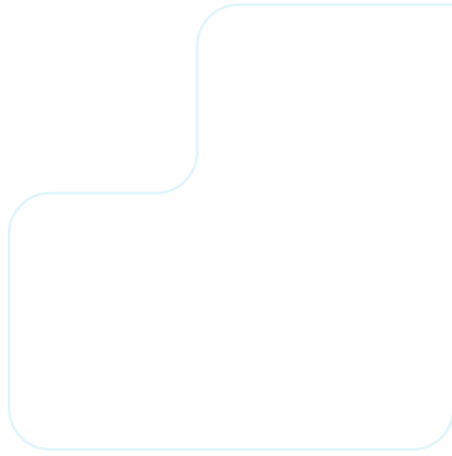
européennes s'appuieront-ils sur des réseaux 5G dont les infrastructures sous-jacentes incorporeront essentiellement des technologies d'entreprises européennes ? Rien n'est joué à ce stade.

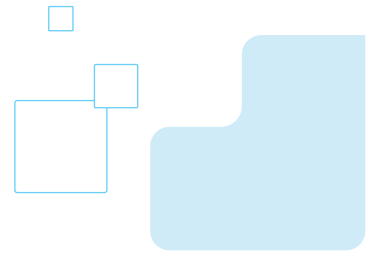
Parallèlement, après les Etats allemands et français, la Commission a adoubié l'association GAIA-X, initiative d'un groupe d'entreprises de l'écosystème du cloud européen⁵². Selon l'analyse de la Commission, le cloud et l'edge représentent des opportunités de marché en Europe, ce qui explique et justifie les efforts des acteurs et le soutien de la Commission à GAIA- X. Selon le représentant de la CE, l'Europe peut compter sur une solide expertise industrielle dans les technologies d'infrastructures sous-jacentes : systèmes IoT industriels, applications métiers, secteur télécom/ 5G et en matière d'intégration de systèmes. Et ce sont sur ces bases technologiques, en complément à l'adhésion aux règles et valeurs européennes, que sont appelées à se développer des initiatives d'espaces communs de données métier. Rien qu'en France, une douzaine de ces espaces de données métier sont en phase active d'élaboration⁵³. Bien que le potentiel de développement de ces chaînes de valeur par le déploiement de systèmes d'information industriels boostés en 5G ne soit pas envisagé à ce stade, un certain nombre des applications nécessaires pourraient bien en bénéficier.



52- Cf. la présentation de Pierre Chastanet (DG Connect, CE) lors de la première réunion plénière du hub français de GAIA-X, le 21 janvier dernier, <https://www.cigref.fr/premiere-pleniere-pour-le-french-gaia-x-hub>. Sa présentation se trouve ici : https://www.cigref.fr/wp/wp-content/uploads/2021/01/22012021_pleniere_french_gaix_hub.pdf

53- On peut citer les « dataspace » finance assurance, transition énergétique, mobilité, Espace, industrie aéronautique, santé, « green deal », et agriculture.







anRT

ASSOCIATION NATIONALE
RECHERCHE TECHNOLOGIE

33 rue Rennequin
75017 - PARIS
Tél : +33(0)1 55 35 25 50
com@anrt.asso.fr
www.anrt.asso.fr