



HAL
open science

L'Impact du financement de la recherche : La 5G

Johannes van Der Pol, Jean Paul Rameshkoumar, Ines Dhuit

► **To cite this version:**

Johannes van Der Pol, Jean Paul Rameshkoumar, Ines Dhuit. L'Impact du financement de la recherche : La 5G. [Rapport de recherche] Univ. Bordeaux, CNRS, BSE, UMR 6060. 2022. hal-03523279v1

HAL Id: hal-03523279

<https://hal.science/hal-03523279v1>

Submitted on 12 Jan 2022 (v1), last revised 30 May 2022 (v2)

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.

Impact du financement de la recherche : La 5G

Johannes VAN DER POL
Jean-Paul RAMESHKOUMAR
Inès DHUIT

22 décembre 2021



Ce rapport a été financé par le ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation dans le cadre d'un consortium sur l'analyse de l'impact du financement de la recherche.

Le travail proposé dans le cadre de ce contrat ne vise pas à évaluer la qualité intrinsèque des solutions technologiques proposées dans le domaine mais d'évaluer l'émulation que suscitent ces solutions dans les activités de recherche d'autres acteurs inventifs.

En outre, la plateforme de recherche VIA Inno ne dispose pas des compétences nécessaires pour la réalisation d'état de l'art, et ne revendique de fait nullement l'exhaustivité des portefeuilles de brevets, projets de recherche ou travaux scientifiques étudiés.

L'université de Bordeaux n'entend ni approuver, ni désapprouver les opinions particulières émises dans cette thèse. Ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.

Sommaire

Titre	1
Sommaire	2
1 Introduction	3
2 L'émergence de la 5G	4
2.1 La pré-standardisation : Le rôle central de la 5GIA	4
2.2 L'Europe et la 5GIA : La création de la 5GPPP	6
2.3 La 3GPP et la normalisation de la 5G	6
2.4 Enjeux technologiques, économiques et souveraineté	8
2.5 Récapitulatif et données mobilisées dans le rapport	8
3 Le financement de la recherche en 5G	11
3.1 Impact sur la performance de la France dans le Monde	14
3.2 Impact sur les écosystèmes	17
3.2.1 Typologie des collaborations	17
3.2.2 Positionnement des acteurs français dans l'écosystème mondial	18
3.2.3 L'écosystème de la recherche français	22
3.3 Impact sur les thématiques traitées	24
3.3.1 Identification des thématiques au niveau mondial	26
3.3.2 Focus sur les thématiques des acteurs français	29
4 La France dans les projets européens	32
4.1 Classement des pays et des acteurs	32
4.2 L'écosystème des projets européens	35
4.3 Positionnement des acteurs français en fonction des thématiques	39
5 Le financement par l'ANR	43
5.1 Ecosystème dans les projets ANR	44
5.2 Thématiques traitées et positionnement des acteurs	46
6 L'industrialisation : Les brevets essentiels à la norme	49
6.1 Identification de l'écosystème	51
6.2 La proximité technologique entre les acteurs	54
6.3 Etude des stratégies de déclarations des TS	61
Identification du lien entre TS et largeur du brevet	65
7 Conclusions et recommandations pour la 6G	69
8 Annexes	71
Bibliographie	72

Executif Summary

L'objectif de ce rapport est d'analyser l'impact du financement de la recherche dans le domaine de la 5G. Pour atteindre cet objectif, nous commençons par identifier les sources de financements des acteurs français à partir des communications scientifiques. Par une étude comparative des communications financées et non-financées nous analysons l'impact des financements sur l'excellence de la recherche, sur les écosystèmes et sur les thématiques traitées.

Nous procédons ensuite à une analyse de la place de la France dans les projets européens (montants reçus, écosystème et thématiques). La même approche est mise en œuvre sur les projets financés par l'Agence Nationale de la Recherche.

Pour faire un lien entre le monde de la recherche et le monde industriel, nous focalisons ensuite sur les brevets essentiels à la norme 5G. Cette analyse a pour objectif de mesurer la capacité de la France à transformer sa recherche en actifs industriels et valoriser la recherche financée.

Le dernier chapitre conclura et proposera des recommandations pour le développement de la 6G.

1 Introduction

La 5G est la cinquième génération des infrastructures de télécommunication. La 5G n'est pas une technologie à proprement parler. Il s'agit d'une norme qui repose sur une multitude de technologies qui la différencient de la génération précédente (Hallingby et al. [s. d.](#)). Dans le cas de la 5G nous pouvons citer le Cloud Computing, le massive MIMO et bien sûr la New Radio.

La différence majeure avec la 4G, au-delà de la vitesse accrue et latence décriée, réside dans les technologies permettant de créer l'Internet des Objets. Autrement dit, les technologies qui permettent à un nombre massif d'objets (voitures, robots, téléphones, machines) de communiquer par le biais du réseau sans fil. L'Internet des Objets (Internet of Things ou IoT), est un enjeu majeur pour l'économie nationale et pour les acteurs présents sur le marché. L'IoT est un point fondamental pour l'industrie du futur (Cimini et al. [2018](#)) et donc un enjeu majeur pour le développement économique (Arnold et al. [2016](#)).

La demande anticipée d'objets connectés implique plus de licences et produits vendus. La taille du marché sera donc à plusieurs facteurs de celui du marché 4G. Le marché de la 5G est estimé à 180 milliards de dollars juste pour l'Amérique du Nord (Morgan [s. d.](#)) en 2030.

La multiplication des objets connectés pose aussi la question de la sécurité des données. Les informations contenues dans nos objets transitent par le réseau et sont décodées par des technologies spécifiques. La protection des objets ainsi que les modules de décodage du signal qui transitent entre les objets doivent être protégés. Sans protection adéquate il est possible de prendre le contrôle d'un objet, d'écouter les données ou de les corrompre. Un des points de tension récents entre les Etats-Unis et Huawei concernait spécifiquement sur ce point. Huawei produit des boîtiers qui décodent les signaux et était accusé de récupérer des informations qui transitent sur ses boîtiers. Plus nos objets sont connectés, plus il devient important de les protéger et donc aussi de ne pas être dépendant d'un fournisseur unique. Il y a ici un enjeu de souveraineté.

Afin d'éviter ce problème, il est donc important que plusieurs acteurs soient capables de produire les modules et qu'ils soient en mesure de le faire sans obstacle lié à la propriété intellectuelle. En ce sens, la course aux brevets essentiels à une norme, qui donnent une

protection est primordiale.

La 5G étant une norme, un acteur ayant un brevet sur une technologie clé force les autres acteurs à lui acheter des licences pour pouvoir produire. En théorie, un brevet essentiel à une norme (BEN), implique que ce brevet est essentiel pour pouvoir utiliser la technologie. Un acteur ayant déposé des brevets la technologie centrale de la 5G, a donc une position stratégique pour bloquer le marché. Étant donné l'importance de ces brevets, les acteurs aiment afficher la volumétrie des brevets BEN déposés.

Avant de déposer un brevet, il faut cependant une activité de recherche. Dans la 5G la recherche joue un rôle particulier. Contrairement à d'autres domaines technologiques, où la technologie émerge suite à un saut de verrou technologique ou juste une bonne idée, l'émergence de la 5G est hautement institutionnalisée. Étant donné que l'objectif de ce rapport est d'analyser l'impact des financements de la recherche, nous allons commencer par décrire le processus d'émergence de la 5G en Europe. Ceci implique une cartographie de l'ensemble des instances qui interviennent et qui orientent la recherche. Ceci dans le but de mieux comprendre le financement avant d'analyser son impact.

Ce rapport est organisé comme suit : dans un premier temps nous décrivons l'émergence de la 5G et les acteurs qui orientent les axes de recherche. Dans un second temps nous identifions les sources de financement de la recherche pour les acteurs français et analysons l'impact de ces financements sur l'excellence, les écosystèmes et les thématiques traitées. Nous procédons ensuite à un focus sur la place de la France dans les financements européens avant d'analyser les projets financés par l'ANR. Dans la partie suivante, nous complétons la boucle en analysant les BEN au niveau mondial afin d'analyser comment les acteurs français parviennent à protéger les fruits de la recherche. La dernière partie conclut avec des recommandations.

2 L'émergence de la 5G

2.1 La pré-standardisation : Le rôle central de la 5GIA

La 5G est la norme qui définit les caractéristiques techniques du réseau des télécommunications mobiles. Ceci inclut les antennes, mais aussi les objets qui s'y connectent. Les antennes assurent la transmission des données entre les différents objets.

En ce sens, ce n'est pas un bien comme un autre. Le réseau constitué par ces antennes et objets n'a de valeur que si les personnes ou objets qui cherchent à communiquer sont connectés au même réseau. Si chaque pays produit son propre réseau 5G avec une technologie différente, un téléphone ne fonctionnerait plus dès qu'il passe la frontière. Ou dans un autre extrême, si plusieurs réseaux 5G concurrents existent au sein du même territoire, il est possible que la couverture ne soit pas totale, ou communiquer uniquement avec les personnes connectées sur le même réseau.

Ceci pose un certain nombre de problèmes d'un point de vue économique. Dans un premier temps, la question du coût de l'installation du réseau. Ce coût est important en règle générale et bénéficie souvent de subventions pour pouvoir être réalisé. Si plusieurs réseaux différents co-existent, ce coût est multiplié et la rentabilité de chaque réseau est réduite. Un réseau bénéficie de ce que l'on appelle des effets de réseaux, impliquant que plus il y a d'utilisateurs, plus ces mêmes utilisateurs tirent bénéfice du réseau (Katz et Shapiro 1994, Curien 2000). Pour les acteurs mettant en place le réseau, plus d'utilisateurs implique des économies d'échelle et un coût d'entretien divisé par le nombre d'utilisateurs.

Dans l'ensemble, pour un réseau de télécommunication, il paraît donc inefficace d'avoir plusieurs réseaux 5G au sein du territoire, qu'il soit national ou européen. Un réseau unique demande cependant une coordination au niveau international qui influence aussi le choix au niveau national. Pour ceci il faut que les technologies soient harmonisées ou, à minima, répondent à des standards communs de façon à pouvoir faire fonctionner n'importe quel terminal 5G sur l'ensemble du réseau. Pour cette raison la normalisation joue un rôle essentiel dans l'émergence de la 5G. La normalisation assure que les acteurs, positionnés sur les différents segments de marché, des puces 5G aux satellites, proposent des produits compatibles.

La 5G n'est donc pas véritablement une technologie, mais plutôt une norme qui contient une multitude de technologies. Chacune de ces technologies doit répondre à des spécifications techniques de façon à pouvoir fonctionner dans le cadre de la norme 5G. Avec la normalisation comme point central, l'émergence de la 5G diffère de celle d'autres technologies. Elle demande l'intervention et la coordination non seulement des chercheurs, mais aussi des pouvoirs publics, d'instances de normalisation et de l'industrie. Cette coordination nécessaire résulte en une émergence hautement institutionnalisée de la technologie.

L'émergence de la 5G passe par différentes étapes, commençant par la préstandardisation. Cette étape consiste en une concertation entre les acteurs de l'industrie et de la recherche. Afin de coordonner leurs actions autour de la 5G ces acteurs s'organisent en association : la 5G Infrastructure Association (5GIA). Cette association compte 70 membres comme Orange, ATOS, Huawei, Qualcomm, Nokia, Thales, Fraunhofer. La recherche française est représentée dans cette instance par l'Institut Mines Telecom et le CEA-LETI.

La 5GIA coordonne la préstandardisation en mettant en place un groupe de travail, et se fait très en amont¹. Pour la 5G ce groupe de travail était coordonné par Huawei et Trust-IT Services. Le site de la 5GIA précise que la préstandardisation a pour objectif² :

- Identify standardization and regulatory bodies to align with e.g. ETSI, 3GPP, IEEE and other relevant standards bodies, & ITU-R (incl. WPs) and WRC (including e.g. ECC PT1).
- Develop a roadmap of relevant standardization and regulatory topics for 5G : Evaluate existing roadmaps at international level ;
- Propose own roadmap for 5G being aligned at international level.
- Influencing pre-standardization on 5G and related R&D : Potentially propose where topics should be standardized ; Influence timing on R&D work programs (e.g. EC WPs)

Ces objectifs mettent en exergue l'importance de l'association dans le développement de la 5G. L'influence qu'elle exerce et un facteur clé à prendre en compte pour la valorisation de la recherche française au niveau européen.

La normalisation présente un enjeu financier et économique majeur pour les acteurs (Teece 2021, Stasik et Cohen 2020). Un brevet essentiel à une norme doit être licencié par chaque acteur voulant développer ou produire avec la technologie. En ce sens, les acteurs ont incité à proposer des technologies proches de celles qu'ils maîtrisent déjà pour maximiser leurs revenus. Plus ils maîtrisent les technologies, plus il est facile d'assurer un revenu sur le marché. Ceci réduit aussi le risque intrinsèque à l'incertitude du process d'innovation. L'ensemble de ces facteurs peuvent créer un problème de sentier de dépendance au niveau technologique et *in fine* être un obstacle à l'innovation et une barrière à l'entrée pour de

1. Pour référence, cette phase a été complétée fin 2020 pour la 6G alors que la 5G n'en est qu'à ses débuts
2. [Lien vers le site de la 5GIA et le description du groupe de travail](#)

nouveaux entrants qui auraient une technologie plus efficace, mais qui ne parviennent pas à influencer au niveau de la 5GIA.

2.2 L'Europe et la 5GIA : La création de la 5GPPP

La normalisation des technologies est une action qui peut protéger les consommateurs d'un point de vue de la sécurité et d'un point de vue du coût, comme discuté dans l'introduction. En ce sens, la Commission européenne cherche à soutenir la normalisation des technologies. Elle a cependant aussi un objectif de protection de la compétitivité des acteurs de l'Union Européenne. Il résulte de ce double objectif que la CE cherche un moyen de soutenir la standardisation tout en développant un portefeuille de propriété intellectuelle pour les acteurs européens. Afin d'assurer qu'une activité de recherche existe au sein de l'union en ce sens, elle finance des projets de recherche européens (FP7, Horizon 2020 et Horizon Europe).

Pour la mise en place d'une partie des projets, la CE cherche le conseil de l'industrie pour évaluer dans quelle mesure les objectifs sont atteignables (faisable). La 5GIA est sollicitée pour ces discussions, montrant toute l'importance de la pré-standardisation.

La mise en cohérence des objectifs de la CE et des possibilités technologiques proposées par la 5GIA donnent lieu aux partenariats publics privés dans la 5G, la 5GPPP. Cette dernière est une entité juridique créée par la 5GIA et l'UE orientant les axes de recherche sur la 5G en cohérence avec les objectifs de l'UE.

Le contrat donnant naissance à la 5GPPP compte 23 objectifs³, dont voici quelques exemples :

- Conduire une R&D en prenant en compte la standardisation
- Développer la nouvelle génération de technologies clés, prenant en compte les défis sociétaux
- Effet de levier sur les investissements de l'UE à hauteur de 5
- Améliorer l'efficacité énergétique
- Assurer que le réseau puisse supporter la UHD TV
- Développer un portefeuille de droits de propriété intellectuelle pour sécuriser la position de l'Europe dans le monde
- Assurer la protection du réseau contre les cyberattaques

La 5GIA a un pouvoir d'influence certain au niveau technologique dans les axes de recherche au niveau européen et par extension sur les technologies qui seront brevetées de par leur positionnement sur la normalisation. L'objectif de PI clairement stipulé dans le contrat incite les acteurs à breveter sur les technologies qui font référence à une norme qui est largement influencée par ces mêmes acteurs.

La normalisation est cependant un processus dynamique faisant intervenir une multitude d'acteurs nationaux et internationaux. Pour comprendre l'émergence de la 5G il convient de comprendre comment émerge une norme dans le cas des télécoms.

2.3 La 3GPP et la normalisation de la 5G

L'émergence d'une norme provient de la reconnaissance qu'un commun accord est bénéfique pour la société. Cet accord émerge en règle générale par l'industrie qui voit la normalisation comme un moyen de réduire les coûts de production (économies d'échelle), de récupérer un avantage compétitif (signal de qualité), ou d'imposer sa technologie au marché et récupérer une rente liée aux licences. Dans d'autres cas, ce sont les institutions

3. Le contrat est disponible [ici](#))

qui demandent cette normalisation pour des raisons de sécurité. Dans le cas de la 5G, il s'agit d'un accord entre les deux visions. Les institutions reconnaissent le besoin d'une normalisation pour des raisons à la fois de sécurité et de coût pour les consommateurs. L'industrie profite des économies d'échelle et une possibilité d'imposer une technologie (monopole). Au niveau européen, la CE se concerte avec la 5GIA, pour s'accorder sur les attentes de la nouvelle génération. La commission discutant les enjeux de la société (besoins des consommateurs, niveaux de protection des données, disponibilité, usages, etc.), la 5GIA apportant une expertise technique sur ce qui est envisageable dans le temps de développement de la nouvelle génération.

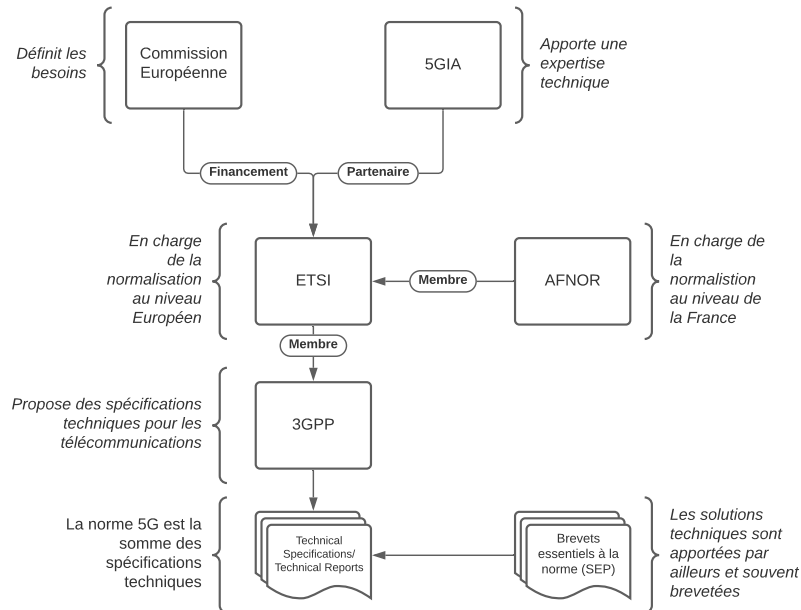


Figure 1. Institutions intervenantes dans la création de la norme 5G au niveau Européen.

Dans la figure 1 sont résumées les différentes étapes et organismes qui interviennent dans la mise en place d'une norme. La discussion entre la Commission et 5GIA (qui se fait souvent par le biais des partenariats public-privé), donne lieu à des propositions faites à la 3GPP qui est l'organisme qui s'occupe de la préparation des spécifications techniques liées aux télécoms. La 3GPP regroupe l'ensemble des organismes de normalisation pertinents au niveau des télécom (7 au niveau mondial). Pour l'Europe il s'agit du European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Cette entité est en partie financée par la Commission européenne alors que la 5GIA en est partenaire. L'agence de normalisation nationale (AFNOR) est aussi membre.

Le point central de la normalisation est la 3GPP qui produit un ensemble de spécifications techniques (TS) et rapports techniques (TR) qui définissent ensemble la norme 5G. Chaque spécification technique est préparée par un groupe de travail. Ces TS traitent d'une partie spécifique d'une technologie :

- TS-38.108 : NR; Satellite Node radio transmission and reception
- TS-38.113 : NR; Base Station (BS) ElectroMagnetic Compatibility (EMC))
- TS-38.104 : NR; Base Station (BS) radio transmission and reception
- ...

Les documents produits par la 3GPP ne décrivent aucunement une solution technique, uniquement les attentes. Les solutions sont apportées par des acteurs de toute nature qui

peuvent ou non protéger leurs solutions techniques. Si la solution technique est brevetée par les membres des groupes de travail, ces derniers sont dans l'obligation de les déclarer. De plus, toute entité ayant pris connaissance de ces TS peut déclarer son brevet comme essentiel.

Ces brevets sont alors appelés des Brevets Essentiels à une Norme (BEN) ou Standard Essential Patents (SEP) en anglais. Un brevet est considéré SEP lorsque l'inclusion d'une TS ou TR (Technical Report) dans un produit ne peut se faire sans enfreindre le brevet en question. En déclarant son brevet, le titulaire s'engage à rendre disponible son brevet pour la vente de licences dans des conditions particulières ; les conditions *Fair, Reasonable and Non-Discriminatory* (FRAND). Ces dernières incitent les titulaires à demander des sommes raisonnables pour des licences liées à leurs brevets. Cette condition est spécifiée, car la position de monopole du détenteur du brevet peut l'inciter à demander des royalties élevées, voire démesurées. La taille du marché anticipée pour la 5G est telle que les montants récupérés en termes de licences peuvent être considérables, même avec des limites comme les conditions FRAND.

2.4 Enjeux technologiques, économiques et souveraineté

Ces conditions, qui peuvent paraître restrictives, créent en réalité un environnement favorable aux acteurs souhaitant exploiter leur propriété intellectuelle. En effet, en se positionnant sur ces spécifications techniques (TS) les acteurs maximisent la probabilité de rentabiliser leurs brevets par la vente de licences. Ceci est renforcé par l'observation que les acteurs détenant les SEP sont souvent leaders dans les groupes de travail qui définissent ces TS. Il en résulte un cercle vertueux pour les acteurs qui définissent les spécifications et protègent les solutions techniques associées. Dans ce système, les acteurs sont incités à s'inclure dans les groupes de travail et orienter les spécifications pour pouvoir par la suite exploiter les technologies. Un des enjeux économiques majeurs de la 5G pour les acteurs est donc le positionnement sur ces TS.

Au-delà des solutions techniques, les données qui transitent sur les antennes 5G soulèvent des questions de sécurité. Avec un nombre de capteurs et d'antennes accru, et des données de plus en plus sensibles, la sécurité est un enjeu majeur pour la 5G. Ce ne sont plus uniquement les appels ou messages, mais des données provenant de voitures, d'usines et de ménages qui transitent sur des antennes avec un risque d'être captés. De plus, en étant connecté en permanence sur le réseau, le risque de piratage et de prise de contrôle à distance augmente. Les réserves émises par le gouvernement américain au sujet des produits de Huawei entre dans cette question. Les USA accusent Huawei de proposer des équipements qui peuvent être utilisés pour de l'espionnage. La question de la sécurité est ainsi revenue sur le premier plan, montrant à la fois le risque auquel les réseaux nous exposent, mais aussi le risque de retard technologique auquel une région comme l'Europe peut faire face si aucune alternative n'existe.

Dans le scénario où les antennes ne sont produites que par des acteurs étrangers qui ont protégé leur technologie par des brevets. Il n'est pas à exclure que des failles de sécurité ne puissent se résoudre sans l'intervention de ces acteurs étrangers, créant un problème au niveau de la souveraineté.

2.5 Récapitulatif et données mobilisées dans le rapport

Dans les sous-sections précédentes, nous avons évoqué certaines des entités qui interviennent dans l'émergence de la 5G. L'objectif de cette sous-section est de positionner les différents acteurs pour identifier les liens d'influence. Ce graphique sert aussi à expliquer l'organisation du reste de ce rapport en liant aux sources de financement des bases de

données contenant soit des inputs de la recherche soit des outputs. La figure 2 résume ces informations.

Les acteurs sur la première ligne sont les parties prenantes d'un point de vue macro. Dans le cadre de ce rapport, il convient de comprendre les motivations des acteurs à s'investir dans le domaine de la 5G. Les intérêts de la CE et de la 5GIA ont déjà été abordés. Pour la France, la 5G et les télécommunications, plus largement, posent un enjeu de souveraineté. Une dépendance forte aux technologies étrangères est risquée et peut poser des problèmes de sécurité pour les acteurs nationaux.

En seconde ligne émerge la normalisation, qui mobilise directement ou indirectement les acteurs que nous venons d'évoquer. La normalisation est mise en place par la 3GPP au niveau mondial. La France est présente dans cette instance par le biais de l'AFNOR qui est membre de l'ETSI. La 3GPP en soi, mobilise des experts de partout dans le monde pour définir les spécifications techniques. Ces deniers sont en retour liés aux projets européens par le biais de la 5GPPP.

Les moyens mis en oeuvre pour financer la recherche sont présentés dans la ligne suivante. Nous y retrouvons au centre les projets européens avec les projets financés dans le cadre des PPP. Au niveau français nous il y a plusieurs instances qui financent la recherche, notamment l'ANR. A noter le financement direct de la recherche (CNRS, Universités etc.) est un facteur à prendre en compte, mais plus difficile à mesurer.

Afin d'analyser l'impact des financements, il convient de trouver des données permettant de mesurer soit les inputs, soit les outputs de la recherche. Dans les deux dernières lignes du graphique, nous identifions les bases de données qui seront mobilisées dans ce rapport pour mesurer soit les inputs soit les outputs. Au niveau français nous mobilisons Data.gouv.fr pour identifier des projets ANR en lien avec la 5G. Nous pouvons ainsi identifier les acteurs, les thématiques et les montants des projets. Au niveau européen nous mobilisons la base CORDIS, contenant les projets européens. Cette base précise les acteurs, le montant par acteur et contient un abstract des projets que nous exploiterons pour identifier des thématiques de recherche. La base 3GPP est une base contenant les TS préparés par la 3GPP. Cette base sera utilisée pour identifier les TS relatifs à la 5G et les matcher avec une base de données de brevets pour identifier les brevets essentiels à une norme. La base de données de brevets que nous mobilisons est Orbit de Questel. La dernière base sur les outputs est la base Scopus, contenant les publications scientifiques. Cette base contient des outputs venant de presque toutes les sources de financement mis à part la 3GPP.

A retenir :

- L'émergence de la 5G (et celle de la 6G à venir) est hautement institutionnalisée. Etre présent dans les instances est un facteur clé de succès pour défendre les technologies françaises.
- L'importance de la norme crée un sentier de dépendance au niveau de l'innovation qui risque de freiner l'innovation.
- Ce sentier de dépendance crée aussi des barrières à l'entrée pour les nouveaux entrants.
- Les enjeux technologiques et économiques résident dans un premier temps dans le standard. L'enjeu de souveraineté est finement lié.
- Les liens science industrie sont fondamentales dans ce type de domaine, mais des liens trop proches peuvent freiner l'innovation en jouant avant tout dans l'intérêt des industriels.

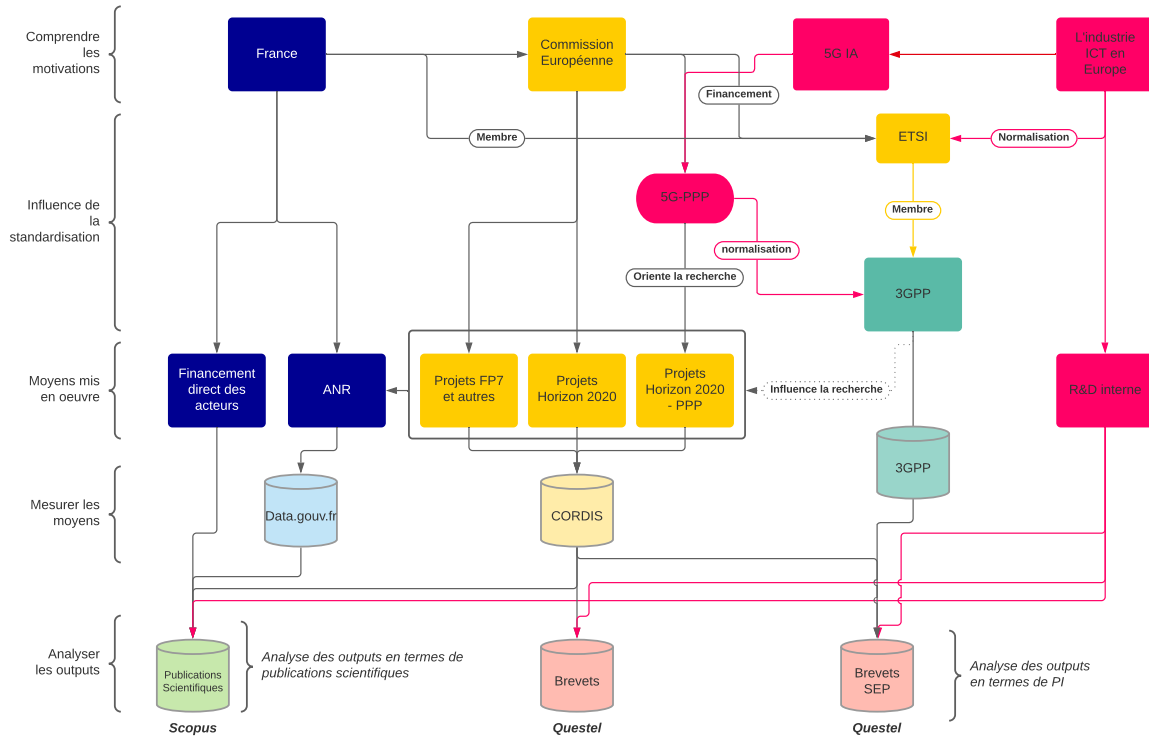


Figure 2. Institutions impliquées dans l'émergence de la 5G et les sources de données mobilisées. Quatre types de données sont mobilisés. Un nettoyage des affiliations a été effectué pour harmoniser les noms des acteurs. Ces acteurs sont ensuite reliés aux dates, montants et thématiques identifiées. Toutes les données ont été exportées en Janvier 2021 à partir de ScanR, data.gouv.fr, Questel-Orbit, Scopus, un complément à été exporté en Juin 2021 d'Orbis-lp.

3 Le financement de la recherche en 5G

Pour identifier les sources de financement, nous mobilisons un output de la recherche : les publications scientifiques. Dans la base de données Scopus nous avons procédé à la requête suivante pour identifier les publications en lien avec la 5G. Scopus recense plus de 80 millions de documents venant de plus de 5000 éditeurs dans le monde.

```
(( TITLE-ABS-KEY (
(multi-access W/1 edge W/1 computing)
OR ( millimeter W/1 wave W/1 transmission)
OR ( mm-wave W/1 transmission)
OR ( non-ip AND networking )
OR ( network W/1 virtualisation)
OR ( network W/1 function* W/1 virtualisation)
OR ( massive W/1 multi?input W/1 multi?output)
OR ( massive W/1 mimo)
OR ( network W/1 slicing)
OR ( new W/1 radio)
)
)
OR (
TITLE-ABS-KEY ( 5G )
AND
( TITLE-ABS-KEY (
( network AND functions AND virtualization )
OR ( nfv )
OR ( mec )
OR ( mwt )
OR ( non-ip AND networking )
OR ( nin )
OR ( small W/1 cells* )
))))
AND NOT (
TITLE-ABS-KEY (
nuclear
OR cyclotron
OR tokamak
))
)
AND (
LIMIT-TO ( PUBYEAR,2021) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2020) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO (
PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2013) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2012) OR LIMIT-TO (
PUBYEAR,2011) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR,2010) )
AND (
LIMIT-TO ( SUBJAREA,"COMP" )
OR LIMIT-TO ( SUBJAREA,"ENGI" )
OR LIMIT-TO ( SUBJAREA,"MATH" )
OR LIMIT-TO ( SUBJAREA,"MATE" )
)
)
AND (
LIMIT-TO ( DOCTYPE,"cp" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE,"ar" ) )
```

Nous cherchons dans cette base les communications qui mentionnent des mots clés en lien avec les technologies 5G. Ces mots clés sont donnés dans la requête ci-dessus. Cette dernière est restreinte aux communications scientifiques publiées depuis le premier janvier 2010.

Uniquement les Articles et les communications en conférence sont retenus pour l'analyse, ceci implique que nous excluons les livres et les articles de type revue de la littérature. Même si ils ont un impact sur l'avancement de la technologie, nous cherchons à identifier et cartographier les compétences techniques et les acteurs dans l'écosystème lié (Bem 1995, Sendstad 2012). De plus, les livres et articles review attirent plus de citations (et citent plus), biaisant les indicateurs basés sur les citations que nous mobiliserons dans la suite de ce rapport (Miranda et Garcia-Carpintero 2018 Ho et al. 2017). Pour exclure de potentiels faux positifs, nous retenons uniquement les communications dans les domaines computer science, engineering, mathematics et materials science.

La requête nous permet d'identifier 25.625 communications scientifiques⁴ au niveau mondial. Nous cherchons ensuite à identifier quelles sont les sources de financement qui ont donné lieu à la communication. Cette identification se fait sur la base des financements notifiés par les auteurs au moment de la procédure de soumission de la publication. Si les auteurs déclarent une source de financement, la communication sera classée comme "financée", en l'absence de déclaration, elle sera classée "non financée".⁵ Même si la notification des

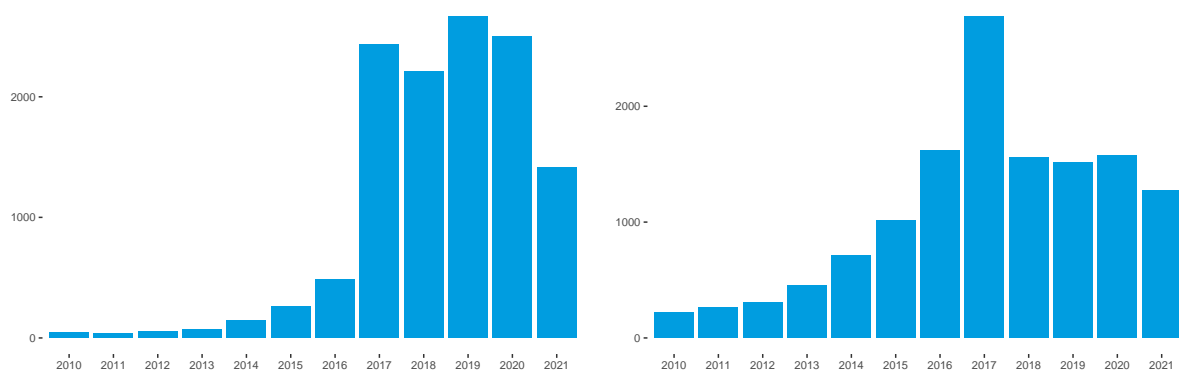
4. Requête effectuée en Janvier 2021 sur la base Scopus d'Elsevier.

5. Cette déclaration exclue les organismes qui payent les salaires des auteurs. Un employé de Huawei ne

financements n'est pas surveillée, elle est de plus en plus demandée par les éditeurs et par les financeurs.

Dans le corpus nous identifions 12.343 communications ayant déclaré une source de financement, 13.282 n'en déclarent pas.

Dans les figures 8c et 8d sont présentées les dynamiques des communications financées et non financées entre 2010 et aujourd'hui. Nous notons une évolution semblable des communications jusqu'en 2016, avec cependant un nombre de publications non-financées supérieur aux financés. Ces derniers décollent en 2017, avec la fin de la première vague de projets européens. Le pic de 2017 peut s'expliquer par des conférences importantes dans le domaine (IEEE). Le nombre de publications financées prend ensuite le dessus sur les publications non-financées, avec une stabilité du nombre de publications non-financées jusqu'à la fin de la période.



(a) Dynamique des publications financées

(b) Dynamique des publications non financées.

Figure 3. Dynamique des publications traitant des technologies en lien avec la 5G.

Source : Scopus, Traitement : Auteurs

Afin d'identifier les acteurs qui financent la recherche française, nous extrayons les communications ayant au moins une affiliation française. A titre de comparaison nous faisons la même chose pour les acteurs allemands. Au niveau français nous identifions 1143 communications scientifiques et 2465 au niveau de l'Allemagne. Sur ces deux corpus, nous analysons les sources de financement notifiées par les auteurs.

Remarque : Ce sont les auteurs qui renseignent dans un champs de texte libre la source du financement, le niveau de détail est donc variable et non harmonisé créant des problèmes d'agrégation. "Commission Européenne" en tant que source de financement ne nous renseigne pas sur le programme de financement (Horizon 2020, FP7). Pour cette raison certaines sources (EC, FP7, Horizon 2020) sont présentes simultanément dans les visualisations.

Les sources de financement pour la France et l'Allemagne sont présentées dans la figure 4. Au niveau de la France nous identifions une majorité de financements venant de l'Europe, avec en tête la Commission Européenne par le biais du programme Horizon 2020 et FP7. Nous retrouvons d'autres instances européennes telles que l'ERC et le FEDER.

61 publications mentionnent l'ANR comme source de financement, la positionnant en seconde position pour les acteurs français, suivie par le fonds unique ministériel et le CNRS

déclare pas Huawei comme financeur, tout comme un chercheur de l'université de Bordeaux ne déclare pas l'université de Bordeaux comme financeur. Si Huawei est présente en tant que financeur, ceci implique que Huawei a financé un projet de recherche qui a donné lieu à la publication.

en tant que financeurs public français. Deux acteurs industriels se situent dans ce top 15 des financeurs, Orange et BMW. La présence de ces derniers s'explique par leur implication dans [Eurecom](#). Eurecom est une école d'ingénieur et centre de recherche à Sophia Antipolis, soutenue par plusieurs acteurs industriels. Les communications financées par ces acteurs se focalisent surtout sur le massive MIMO.



Figure 4. Sources de financement pour les acteurs français et allemands dans les technologies en lien avec la 5G. Source : Scopus, funding Institutional, Traitement : Auteurs

La présence de la National Science Foundation of China est expliquée par des collaborations entre chercheurs notamment de l'école d'ingénieur [centralesupélec](#).

Coté allemand, nous retrouvons la présence des financements européens venant des mêmes instances que les financements des acteurs français. Le cluster Eureka [Celtic-Plus](#) fait son apparition ici. Les clusters [Eureka](#) visent à soutenir des projets de R&D qui couvrent toute une chaîne de valeur. 25 publications mentionnent le projet SENDATE (SEcure NETworking for a DATa center cloud in Europe) comme source de financement. Comme pour la France, nous retrouvons la National Science Foundation of China sur des communications sur le massive MIMO avec des universités Allemandes (Université de Dresden, Technical University of Munich notamment).

La National Science Foundation finance des projets mobilisant la technical university of Berlin et la technical university of Munich. Les thématiques sont plus diverses : MIMO, network slicing, ADcs, small cells.

Nous notons ensuite une variété de sources de financement du gouvernement allemand, mais pas d'acteur industriel dans ce top 15.

Ces deux graphiques montrent une cohérence avec la logique de l'émergence de la norme 5G présentée précédemment. L'Europe joue un rôle essentiel dans la coordination de l'émergence des technologies sous-jacentes à la norme et finance majoritairement la recherche dans le domaine. Sachant que ces axes de recherche sont largement définis par la 5GIA, la direction que prennent ces recherches est influencée, à priori, plus par les acteurs industriels qui tirent bénéfice de la mise sur le marché de la technologie que par les centres de recherche. Nous sommes donc plus dans une logique de market pull que de technology push sur la partie recherche.

3.1 Impact sur la performance de la France dans le Monde

L'impact de la recherche peut être mesuré en termes de citations reçues par les communications scientifiques. Les citations sont utilisées dans le ranking des journaux ainsi que dans certains rankings d'universités et d'unités de recherche (Moed 2006 ; Piro et Sivertsen 2016). Les citations varient cependant largement en fonction du temps et en fonction des domaines. Une communication de 2020 ne peut-être comparée avec une communication de 2010, ce dernier ayant eu 10 ans pour accumuler des citations. De plus, certains domaines sont plus larges, avec plus de publications et donc plus de citations potentielles. Pour palier à ces limites, nous allons mobiliser le Fiel Weighted Citation Impact proposé par (Colledge 2014).

Détail technique : Le FWCI mesure, pour chaque communication, le nombre de citations dans les 3 premières années après publication. Ce nombre est divisé par la moyenne dans le même domaine. Ainsi les biais liés à l'âge des publications et des domaines sont traités

- $FWCI = 1$: Le papier est cité autant que la moyenne
- $FWCI > 1$: Le papier est cité plus que la moyenne. $FWCI = 2$ implique que le papier a été cité 2 fois plus que la moyenne du domaine
- $FWCI < 1$: Le papier est cité moins que la moyenne. $FWCI = 0.8$ implique que le papier a reçu 20% de citations en moins par rapport à la moyenne

Cet indicateur nous permet de mesurer au niveau des pays l'impact des communications scientifiques. L'indicateur est calculé dans un premier temps sur le set des données non financées, donnant lieu au classement se trouvant sur la gauche du graphique 5. Ensuite l'indicateur est calculé pour l'ensemble des communications donnant lieu au classement de droite.

Etant donné que l'indicateur est sensible à la volumétrie des publications nous présentons uniquement le top 10 des pays en termes de volumétrie pour garder une cohérence⁶. Les chiffres correspondent au FWCI, le lien visualise le changement de position dans le classement.

Le classement positionne la Grande Bretagne en première position en termes de citations. La France occupe la sixième place avec un impact 2.65 fois supérieur à la moyenne du domaine. Avec l'inclusion des publications financées dans le calcul, la France monte dans le classement pour atteindre la seconde place avec un nombre de citations trois fois supérieur à la moyenne du domaine. L'Allemagne baisse dans le classement avec un score FWCI légèrement plus faible une fois les publications financées prises en compte. Ceci implique que l'impact de ces publications n'a pas pu surpasser la volumétrie alors que c'est le cas de la France, des Etats-Unis et de la Chine par Exemple.

Détail technique : Une publication pouvant contenir plusieurs auteurs et donc affiliations, une même publication peut être attribué à plusieurs Pays.

Ces positionnements montrent l'importance des publications financées pour la recherche française et par extension l'importances des collaborations internationales.

Pour identifier les acteurs ayant le plus influencé ces scores au niveau national nous regardons le top 20 des acteurs en termes de volumétrie. La figure 6 montre la volumétrie des acteurs sur la gauche et sur la droite leur FWCI ainsi que leur nationalité.

6. Le FWCI est sensible à la volumétrie et donne risque de donner des scores démesurés sur des petits volumes. Un pays avec une seule communication avec un nombre de citations supérieur à la moyenne pourrait se hisser en tête du classement.

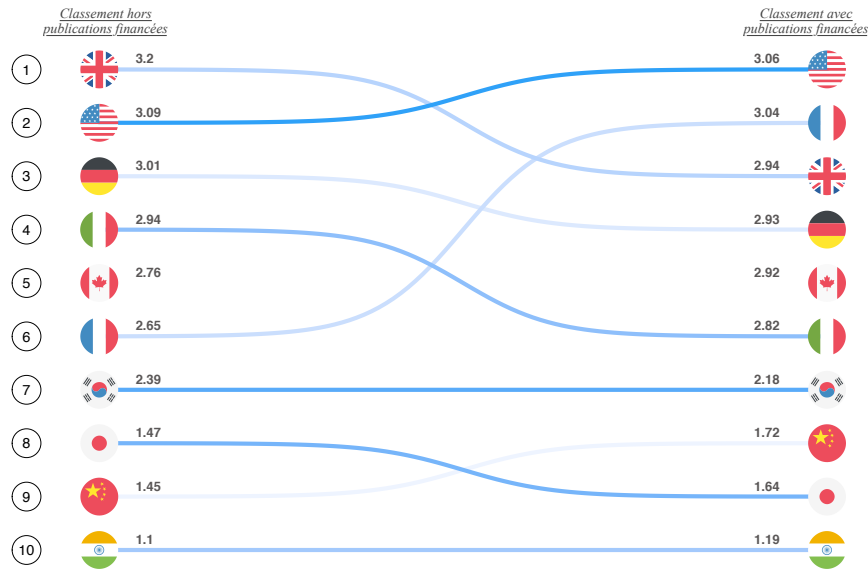


Figure 5. Classement des pays en termes de FWCI pour les communications scientifiques en lien avec la 5G.

Source : Scopus/Scival, traitement : auteurs

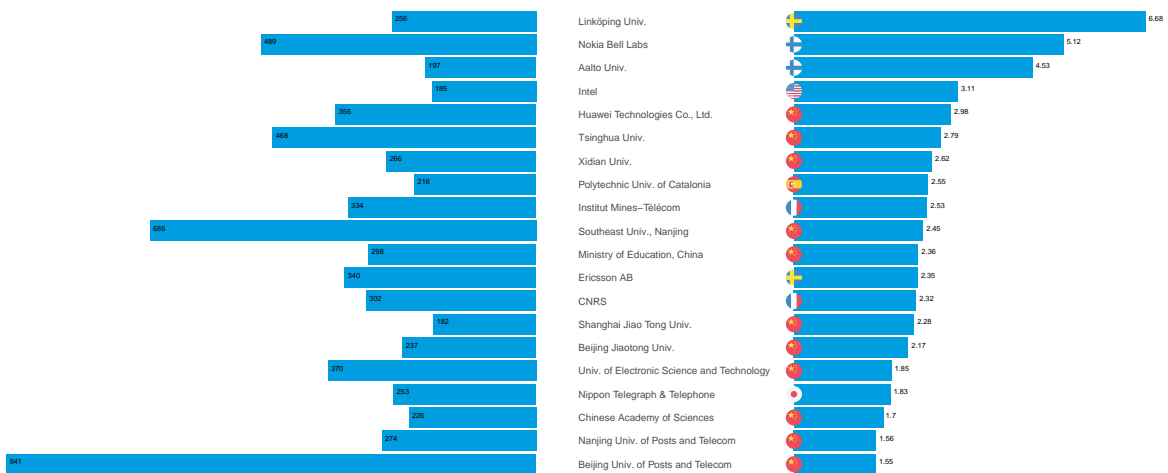


Figure 6. Score d'impact pour le top 20 des acteurs mondiaux en termes de volume de communications scientifiques. Le diagramme en barres de gauche donne la volumétrie de l'acteur, le diagramme de droite le FWCI. Source : Scopus/Scival, traitement : auteurs

Ce classement montre des acteurs de nationalités différentes de celles du top 10 de la figure 5. Ces acteurs peuvent représenter une fraction importante de la volumétrie totale de leur pays les hissant en top du classement acteur. Cependant la volumétrie totale du pays est trop faible pour qu'ils apparaissent dans le top pays.

Le trio de tête dans ce classement est composé d'acteurs proches des industriels européens Nokia et Ericsson. Nokia Bell Labs est le bras armé de la recherche de l'acteur Nokia (précédemment d'Alcatel-Lucent). Cet acteur dispose de centres de recherche dans différents pays dont la France.

Nous retrouvons ensuite des acteurs chinois avec des volumétries fortes mais des scores plus faibles. Les deux acteurs français dans ce top 20 en termes de volume sont le CNRS et

l'Institut Mines Telecom.

En focalisant uniquement sur les acteurs français, nous trouvons dans la figure 7 nous retrouvons des acteurs qui font partie d'une même structure :

- Paris-Saclay : CentraleSupélec, Université Paris-Saclay et Université de Paris-Sud.
- Université de Rennes : INSA de Rennes et l'IRISA
- Institut Mines Telecom : IMT Atlantique, Télécom Paris, Télécom SudParis. IMT est aussi lié à Paris Saclay au même titre que le CNRS et le CEA.

Nous n'avons pas regroupé ces structures pour permettre une identification plus fine de l'écosystème dans son ensemble, à la fois dans cette partie mais aussi pour permettre de garder un niveau d'analyse similaire pour les ANR et les projets européens.

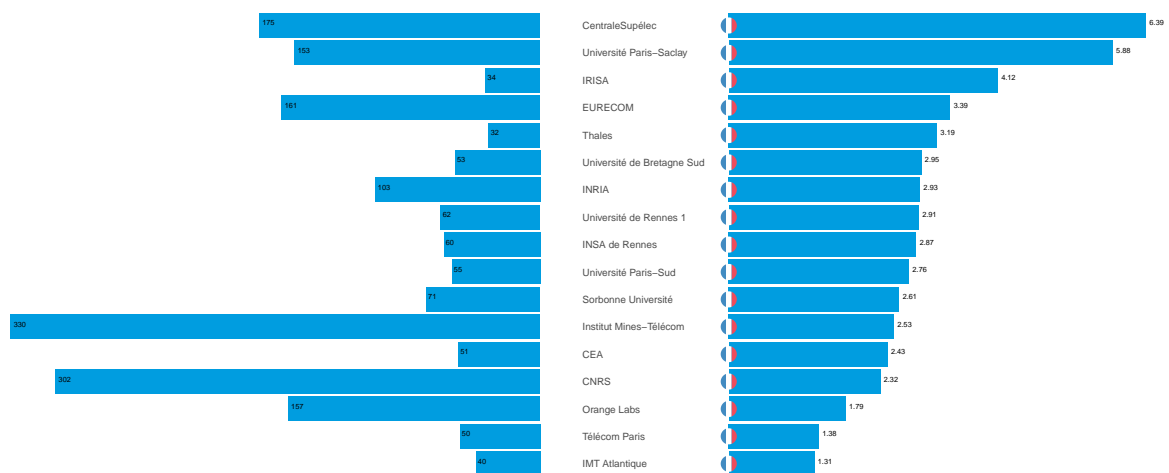


Figure 7. Score d'impact pour le top 20 des acteurs français en termes de volume de communications scientifiques. Le diagramme en barres de gauche donne la volumétrie de l'acteur, le diagramme de droite le FWCI. Source : Scopus/Scival, traitement : auteurs

Le positionnement de la France en termes de recherche est soutenu par des acteurs avec une volumétrie plus faible que les acteurs Chinois ou Américains, mais qui se rattrapent en termes d'impact. Au delà des EPST, EPIC, Universités et écoles d'ingénieurs, nous identifions deux acteurs industriels dans ce top au niveau France : Thalès et Orange Labs. Ces deux acteurs jouent un rôle structurant dans la recherche avec une position centrale dans l'écosystème.

A retenir :

- La France est positionné dans le top 3 des pays en termes d'impact pour des pays à volumétrie de publications semblable
- Elle se finance avant tout auprès de l'Europe et par le biais de l'ANR
- Sa place dans le classement mondial est surtout lié à une multitude d'acteurs à volumétrie faible mais impact fort
- Paris-Saclay, l'écosystème de Rennes et Sophia Antipolis, structurent la majorité de la recherche sur la question

3.2 Impact sur les écosystèmes

La présence de sources de financement étrangers montre que certains pays visent à chercher des compétences sur le territoire français. Les collaborations sont en règle générale vues comme des opportunités pour mettre en commun des connaissances et savoir-faire dans le but d'innover. Dans le cas de la 5G notamment, la commission européenne favorise la collaboration au sein de territoire européen (et dans une moindre mesure en dehors) afin de favoriser l'innovation et tirer pleinement profit des flux de connaissances science-industrie. Dans cette partie nous allons nous focaliser sur les collaborations. En particulier, une analyse des différences entre les collaborations en présence et absence de financement dans l'objectif de mesurer l'impact des financements sur les écosystèmes de recherche.

3.2.1 Typologie des collaborations

Les collaborations peuvent être de natures différentes. Dans un premier temps nous allons nous intéresser aux relations science-industrie. Une relation sera considérée comme science-industrie si au moins une des affiliations est classé comme industriel et au moins une affiliation est classé comme acteur de la recherche (Université, EPST, EPIC, Ecole, ...). Les figures 8a et 8b rapportent le pourcentage de publications science-industrie dans les publications financées et non financées au niveau de la France.

32% des publications financées rapportent un lien science-industrie contre 26% dans les publications non-financées. Le financement favorise donc les relations science-industrie avec un différentiel de 6 points de pourcentage. A titre de comparaison, l'Allemagne a 23% de relations science-industrie dans les publications non-financées, mais 42% dans les publications financées. L'incitation est donc plus forte en Allemagne qu'en France. Les deux pays sont cependant bien au dessus de la moyenne mondiale. Cette dernière est à 10.2% dans les communications non-financées et 12.5% dans les communications financées.

Les premières sources de financement pour la France et pour l'Allemagne sont les projets européens. Ces projets jouent un rôle important dans la mise en place des liens science-industrie. Les motivations derrière les projets européens sont un renforcement de l'industrie pour le rendre compétitive. Une mise en relation entre le monde de la recherche et le monde industriel est une stratégie valable pour arriver à cet objectif.

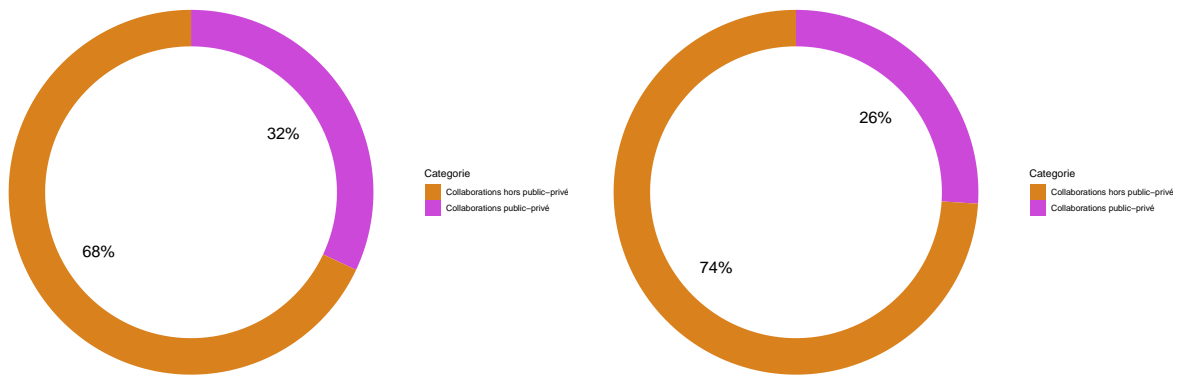
Une seconde dimension se focalise sur le type de collaboration. Suivant STINT 2014⁷ nous reportons ici quatre types de collaborations :

- Auteur Unique : Il n'y a qu'un seul auteur sur la communication scientifique.
- Collaboration Institutionnelle : Il y a plusieurs auteurs, mais ces auteurs ont la même affiliation
- Collaboration Nationale : Au moins deux affiliations différentes dans un même pays
- Collaboration Internationales : Au moins deux affiliations différentes dans un pays différent.

Chaque catégorie est mutuellement exclusive, nous pouvons donc les représenter sous forme de pourcentage. Dans les figures 8d et 8c les valeurs pour les publications financées et non financées sont représentées. Premier élément notable concerne les communications avec un auteur unique, uniquement 2%. Dans les publications financées nous ne trouvons plus de communications à auteur unique.

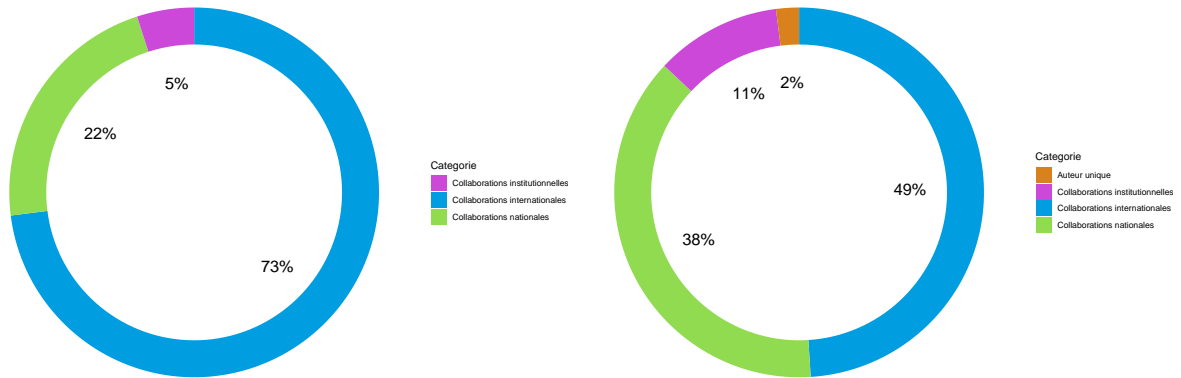
Dans les deux ensembles, les collaborations internationales représentent la plus grosse part avec 49% des publications non-financées et 73% des publications financées. L'effet du

7. Voir ici le rapport complet et l'explication détaillé des indicateurs inclus dans Scival



(a) Relations science-industrie dans les publications financées

(b) Relations science-industrie dans les publications non-financées



(c) Typologie des collaborations dans les publications financées

(d) Typologie des collaborations dans les publications non-financées

Figure 8. Typologie des collaborations dans les communications scientifiques sur les technologies de la 5G au niveau des acteurs français.

Source : Scopus/scival, Traitement : Auteurs

financement européen est ici encore plus visible avec une réduction du pourcentage de publications nationales et communications avec une seule affiliation.

La motivation à favoriser la collaboration a un impact positif sur l'impact des communications. En effet, l'impact en termes de citations sur les communications résultantes d'une collaboration internationale est 2 fois supérieur à celle des collaborations nationales. Ce dernier point est valide que la publication soit financée ou non.

3.2.2 Positionnement des acteurs français dans l'écosystème mondial

Pour mieux comprendre comment les acteurs mobilisent les collaborations dans leurs activités de recherche, nous analysons le réseau de collaboration des communications scientifiques. Plus précisément, nous allons nous intéresser aux différences entre le réseau résultant des collaborations financées et des collaborations non financées.

Détails technique :

Dans les réseaux qui suivent, chaque nœud correspond à une affiliation. Un lien est créé entre deux affiliations dès lors que les deux sont présents sur une même communication.

Pour des questions de lisibilité, nous visualisons uniquement les affiliations avec au moins deux collaborateurs et uniquement la composante géante, c'est-à-dire la partie sur le réseau connectant le plus de nœuds. Il existe des composantes secondaires *i.e* des réseaux plus petits, qui ne sont pas connectés à la composante géante. Les acteurs qui ne sont pas visualisés sont tout de même inclus dans le reste de l'analyse.

La taille du nœud est fonction du nombre de collaborateurs de l'affiliation. Les nœuds sont coloriés en fonction de l'origine géographique :

- France : Bleu
- Allemagne : Violet
- Europe : Jaune
- Chine : Orange
- Autre : Gris

Le réseau de collaboration des communications non-financées est présenté dans la figure 9.

La structure est composée d'un cœur relativement dense avec des composantes faiblement connectés gravitant autour du cœur. Ces composantes correspondent souvent à une publication mobilisant des acteurs qui ne sont pas présents dans d'autres projets. Il y a quelques acteurs français dans ce cas, cependant la large majorité des acteurs français se situent au centre du réseau européen. Quelques acteurs s'éloignent de ce cœur et se rapprochent de la Chine, dont un qui se situe en plein cœur. L'écosystème de la Chine accueille des acteurs étrangers mais reste relativement égo-centré.

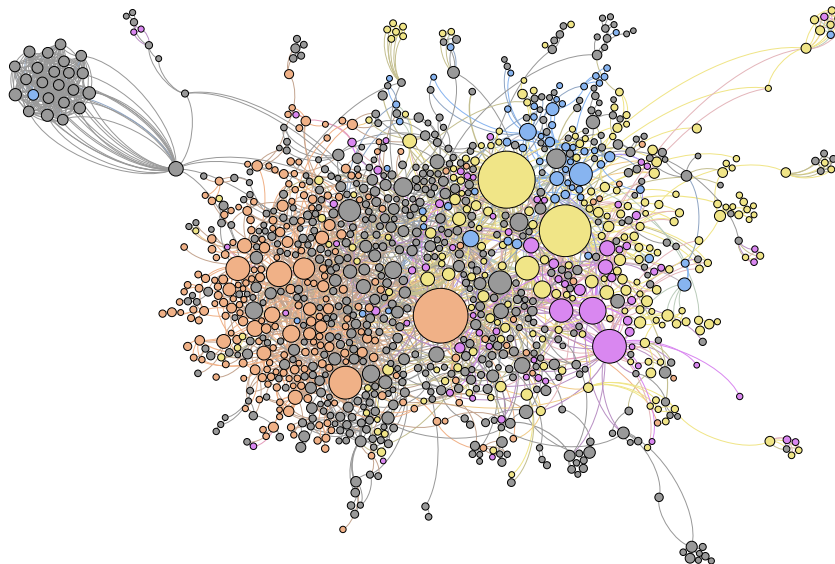


Figure 9. Réseau de collaboration dans les publications scientifiques non financées. En bleu les acteurs français, en vert les acteurs européens, en orange les acteurs américains et en rouge les acteurs chinois.

Les acteurs ayant le plus de collaborateurs dans ce réseau sont Huawei, Nokia Bell labs,

Ericsson, Fraunhofer et NEC laboratories Europe. Nokia et Ericsson structurent le réseau de collaboration européen autour d'eux. Les acteurs allemands (Fraunhofer et NEC) collaborent beaucoup, mais sont plus excentrés.

Huawei se positionne au centre du réseau mondial en collaborant aussi bien avec l'Europe que les Etats-Unis.

Huawei garde cette position centrale dans le réseau financé (figure 10), malgré un réseau de collaboration plus dense. Les statistiques de la table 1 montrent que le réseau financé est deux fois plus dense que le réseau non financé. Notons qu'il y a une différence de 190 nœuds entre les deux réseaux, mais surtout une différence de 7321 liens expliquant la différence de densité. Il en résulte qu'un acteur dans le réseau financé a en moyenne 3 collaborateurs de plus qu'un acteur dans le réseau non financé. Ces collaborations sont moins souvent bilatérales, en moyenne un acteur du réseau financé se trouve dans 20 collaborations triadiques contre 5 pour le réseau non financé.

Les financements par le biais des grands projets résultent en un écosystème bien plus dense avec une proximité accrue entre les acteurs (diamètre de 14 au lieu de 16).

Dans cet écosystème, les acteurs français prennent des positions plus centrales avec notamment Orange Labs, Eurecom et le CEA-Leti. Ces derniers sont centraux dans une communauté largement européenne occupant le droit du réseau dans la figure 10. Les projets européens expliquent sans doute cette structuration. Les acteurs chinois restent en périphérie de la communauté européenne, alors que nous notons la présence de plusieurs acteurs américains, même au centre de la communauté européenne. Les acteurs américains, au-delà de leur propre communauté, semblent proches aussi de la communauté chinoise avec un grand nombre d'acteurs présents au centre de cette dernière. Le réseau montre un recouvrement entre les écosystèmes chinois et américains.

Les différences entre les deux réseaux ne s'arrêtent pas à la structure, les acteurs présents diffèrent. En effet il y a une différence notable entre les écosystèmes : 3829 acteurs présents uniquement dans le réseau non financé et 2987 présents uniquement dans le réseau financé. En d'autres termes, 2987 acteurs entrent dans l'écosystème suite aux financements.

Indicateur	Réseau financé	Réseau non financé	Combinaison
Acteurs	4785	4595	7774
Collaborations	19239	11918	30152
Centralité	0.0006	0.00083	0.0004
Clustering	0.658	0.638	0.635
Densité	0.002	0.001	0.001
Nombre de collaborateurs	8.041	5.187	7.757
Triangles	20.52	7.8	19.2
Diamètre	14	16	16

Table 1. Statistiques des réseaux de collaboration dans les communications scientifiques.

Les différences entre les deux réseaux ne s'arrêtent pas à la structure, les acteurs présents diffèrent. En effet, il y a une différence notable entre les écosystèmes : 3829 acteurs présents uniquement dans le réseau non financé et 2987 présents uniquement dans le réseau financé. En d'autres termes, 2987 acteurs entrent dans l'écosystème suite aux financements.

Dans la 11 sont représentés les acteurs présents dans le réseau financé et absents du réseau non financé. Autrement dit, ces acteurs ont intégré l'écosystème de recherche suite à un financement. Nous représentons ici les acteurs ayant au moins 5 collaborateurs.

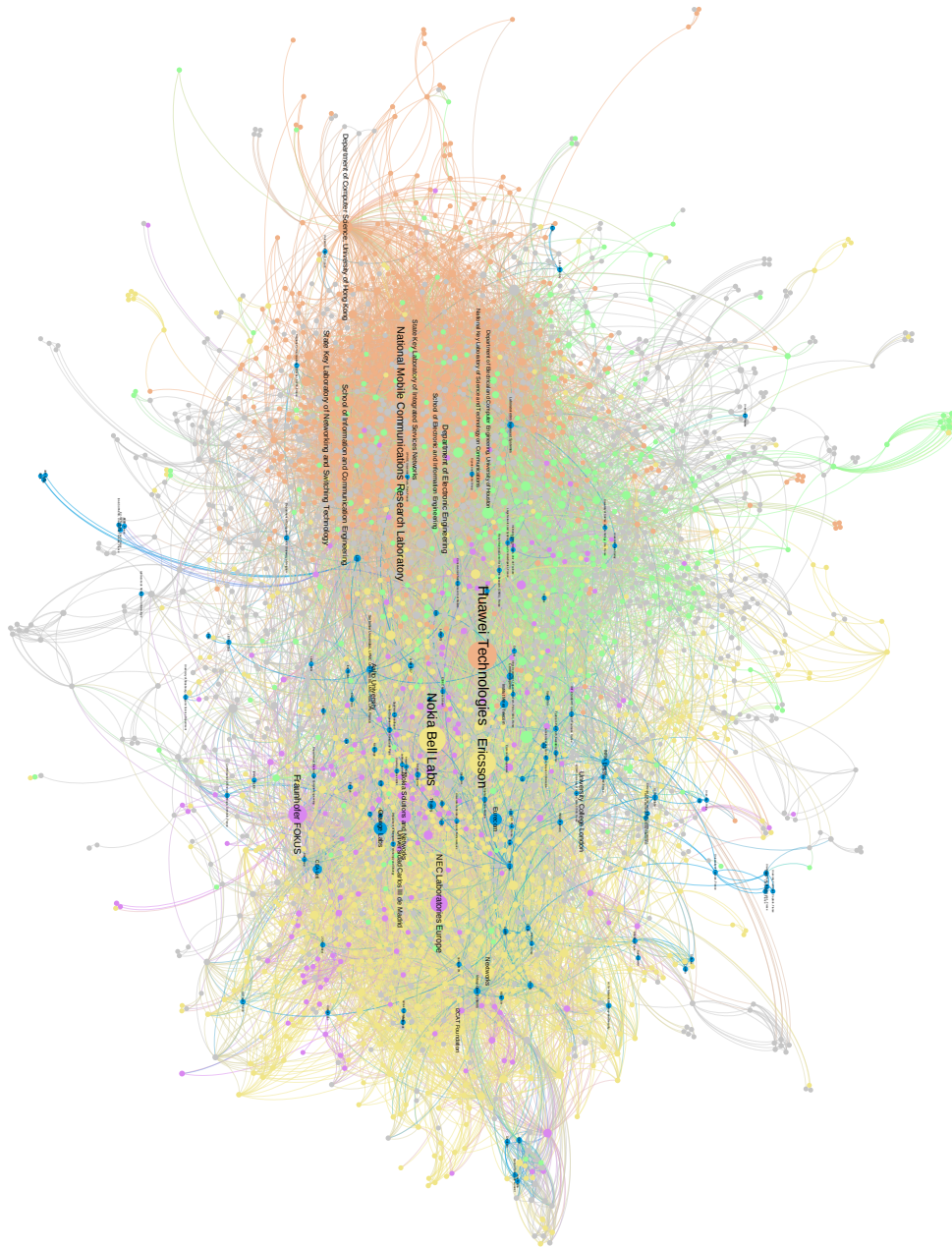


Figure 10. Réseau de collaboration dans les publications scientifiques financées. En bleu les acteurs français, en vert les acteurs européens, en orange les acteurs américains et en rouge les acteurs chinois.

Au niveau français nous observons des acteurs industriels (Virtual Open Systems, ATOS, Oledcomm, PSA, vertical M2M, Sequans) et des acteurs de l'enseignement (ISEP, ESPCI) et une université (Université de Savoie). Le III-V lab est un laboratoire commun, soutenu par des acteurs industriels. Sa présence dans le réseau financé est donc attendue. Moins attendu

est le musée de la carte à jouer, qui participe par le biais d'une use casesur la 5G radio-light ⁸.

Ce sont majoritairement des acteurs privés qui intègrent l'écosystème par le financement. Dans la plupart des cas, il s'agit de projets mobilisant différents acteurs mêlant ainsi recherche fondamentale et applications. Dans le cas PSA il s'agit de la mobilité, les lumières pour Issy media ainsi que pour Oledcomm. Virtual Open Systems ainsi que Sequans participent à des questions de recherche plus fondamentales, nécessaires pour le développement de leurs produits au cœur de la technologie 5G.

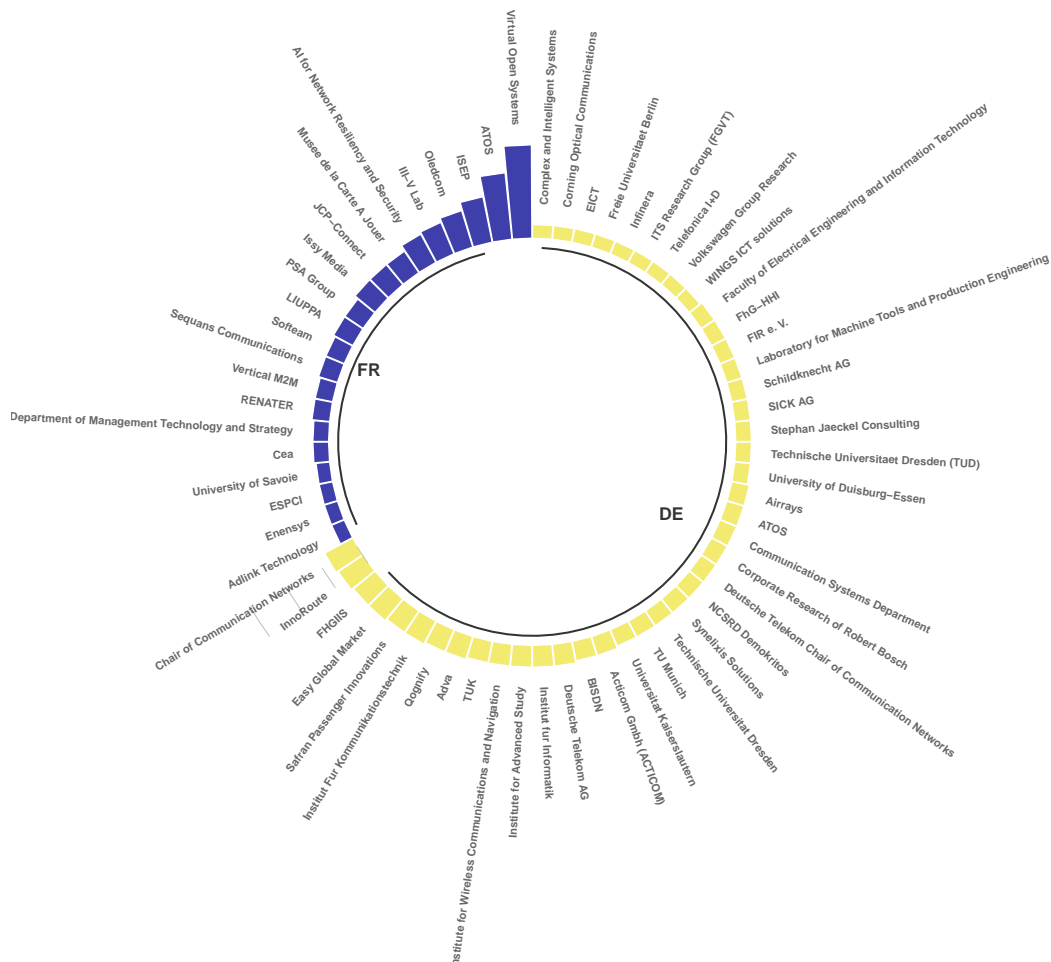


Figure 11. Extrait des acteurs présents uniquement dans le réseau financé, classé par pays. L'histogramme montre le nombre de collaborations de chaque acteur.

3.2.3 L'écosystème de la recherche français

A partir des réseaux que nous venons de décrire, nous pouvons extraire l'écosystème français. Ceci implique que nous ne gardons que les acteurs français et les collaborateurs directs.

Cet écosystème mobilise 1255 acteurs (dont 411 avec une affiliation française) et 4603 liens de collaboration. Dans la figure 12 est représenté le réseau de collaboration des acteurs français. Le même code couleur que les réseaux précédents est appliqué, avec les acteurs

8. [Lien vers un des papiers](#)

français en bleu, les européens en jaune, l'Allemagne en violet et la Chine en Orange.

L'écosystème français est structuré autour de plusieurs acteurs, majoritairement privés. Nous retrouvons ainsi Orange labs, Thalès, ATOS, Virtual Open Systems parmi les acteurs les plus centraux. Nous avons vu dans la figure 11 que certains de ces acteurs ont rejoint le réseau par le biais de financements uniquement (ATOS, Virtual Open Systems). Les laboratoires et centres de recherche se trouvent plus en périphérie du réseau.

Le réseau semble cependant être scindé en deux. A gauche, les collaborations avec les acteurs européens, mobilisant un nombre limité d'acteurs français. A droite, une partie plus dense avec une majorité d'acteurs français. Notons par ailleurs que les acteurs chinois sont présents surtout sur la partie droite du réseau, avec la présence de Huawei dans une position centrale. L'absence des acteurs chinois et la forte présence d'acteurs européens dans la partie droite du réseau laissent à penser qu'il s'agit du reflet des projets européens.

Dans l'ensemble, ce réseau correspond à la narration de l'émergence de la technologie. Ce sont les acteurs industriels qui mènent la danse, même dans la recherche. Dans le cas particulier que nous étudions ici, la mise en cohérence entre les besoins de l'industrie et la direction de la recherche est plus présente que dans d'autres domaines technologiques. Sachant que la norme est le point central, les industriels doivent orienter leurs développements et produits en ce sens. Il est donc aussi important dans cette logique que la recherche soit effectuée en ce sens. Le financement de la recherche assure en quelque sorte cette cohérence.

à retenir :

- La France a un taux de relations science-industrie supérieur à la moyenne de l'industrie, favorisé par les financements.
- La France a un taux de collaboration à l'international supérieur à la moyenne, favorisé par les financements.
- Les financements positionnent les acteurs français au centre du réseau de collaboration européen.
- Les financements attirent de nouveaux acteurs dans l'éco-système.
- L'éco-système collaboratif français est structuré par les acteurs industriels.

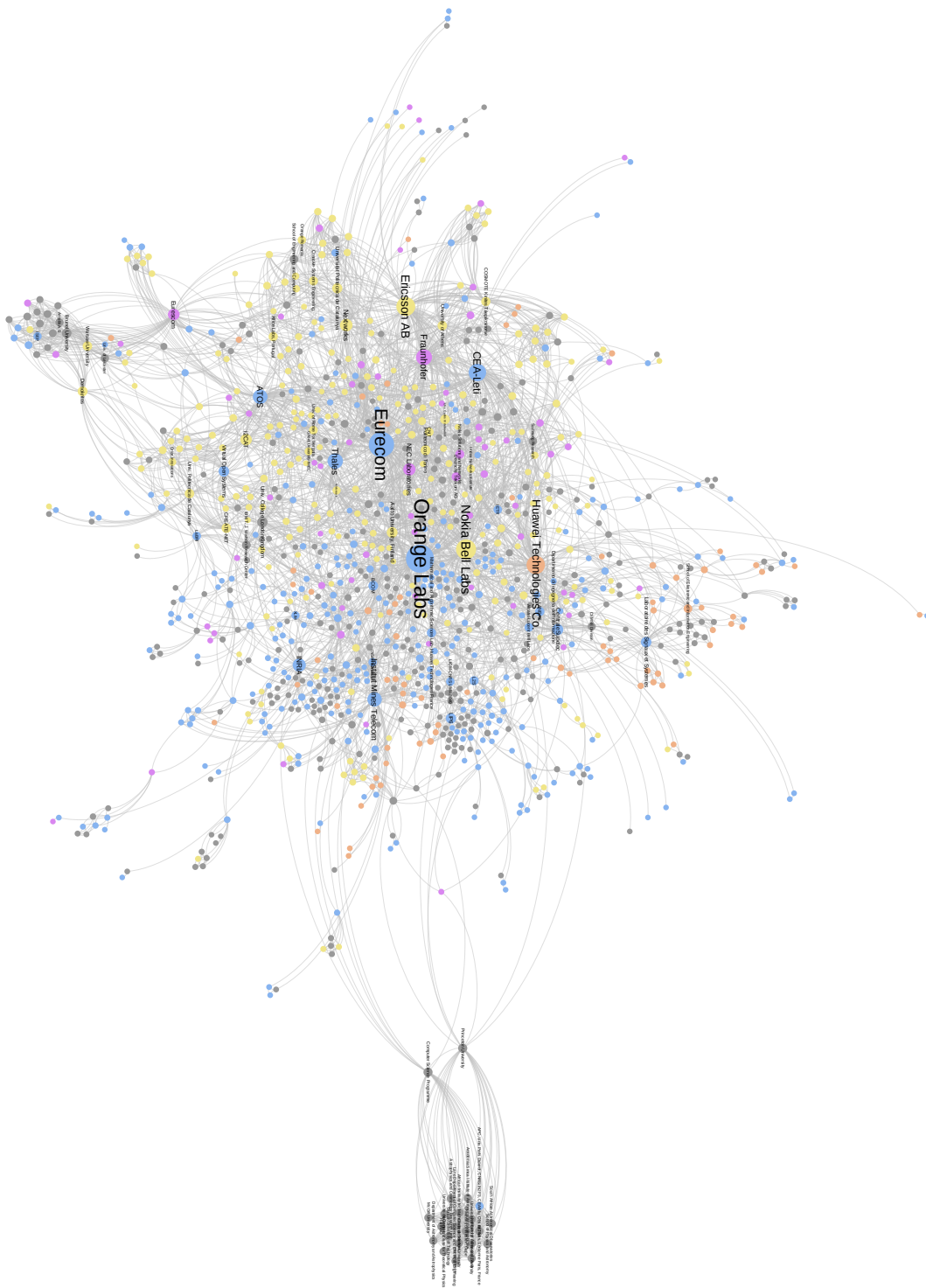


Figure 12. Réseau de collaboration des acteurs français

3.3 Impact sur les thématiques traitées

Maintenant que nous avons une vision des acteurs positionnés, nous allons nous focaliser sur les thématiques de recherche traitées par l'écosystème que nous venons de décrire. Pour ce faire, nous allons mobiliser des techniques d'analyse textuelle. Le set de données est

Acteur	Collaborateurs	Clustering	Centralité	Prestige
Orange Labs	178	0.05	0.28	1
Eurecom	157	0.05	0.16	0.86
CEA-Leti	95	0.08	0.07	0.54
Thales	79	0.08	0.08	0.41
ATOS	72	0.13	0.05	0.45
Institut Mines Telecom	71	0.06	0.1	0.29
INRIA	61	0.07	0.08	0.31
CentraleSupélec	45	0.11	0.03	0.26
Virtual Open Systems	41	0.24	0.01	0.23
Laboratoire des Signaux et Systemes	40	0.08	0.04	0.12
LIP6	39	0.05	0.05	0.09
BCOM	34	0.19	0.02	0.29
LANEAS	30	0.19	0.01	0.2
MASL- Huawei	30	0.13	0.02	0.18
L2S	29	0.08	0.03	0.11
Nokia Bell Labs	26	0.13	0.02	0.11
LaBRI	25	0.15	0.02	0.11
IETR	24	0.11	0.02	0.09
LIGM-CNRS UMR 8049	24	0.13	0.01	0.08
INSA-Rennes	23	0.13	0.02	0.11
APC	22	1	0	0.09
ISEP	22	0.71	0	0.09
XLIM	21	0.15	0.01	0.07

Table 2. Statistiques réseaux pour le top acteur en nombre de collaborateurs. Le clustering indique la densité du voisinage direct de l'acteur. La centralité indique sur la position centrale ou périphérique de l'acteur (plus le score est élevé plus il est central). L'indicateur de prestige est un indicateur de centralité qui prend en compte la centralité des acteurs avec lesquels un acteur est connecté.

le même que précédemment, un set avec des publications financées, un set non financé, et un dernier set qui contient l'ensemble des publications du domaine. Ce dernier set est rajouté ici pour avoir une vision globale des thématiques traitées.

L'objectif ici est de pouvoir comparer les thématiques traitées dans les publications financées et non financées, comparer les thématiques de recherche de la France et de l'Allemagne, positionner la France dans le monde et positionner les acteurs français dans les thématiques.

Point technique : Identification des thématiques de recherche :

L'identification des thématiques repose sur une clusterisation des termes extraits des abstracts des communications. Dans un premier temps les termes les plus saillants sont extraits du texte en mobilisant des indicateurs de spécificité et généralité des termes. Ceci nous donne un classement des termes. Nous avons choisi d'extraire 1000 termes. Nous nettoyons ensuite ces termes à la main en regroupant des termes ou en supprimant des termes trop génériques ou trop spécifiques. Une fois ce nettoyage terminé, nous retons 300 termes. Des calculs de co-occurrence sont ensuite exécutés pour identifier quels termes apparaissent le plus souvent ensemble dans le même document. Ces valeurs sont comparées à une valeur de co-occurrence théorique attendue pour donner un score final à chaque couple de termes (Cramer et Nicewander 1979). Ces couples sont ensuite représentés par un réseau dans lequel chaque nœud est un terme, et chaque lien implique que les termes apparaissent plus qu'attendu ensemble dans le document.

Ce réseau est ensuite analysé pour identifier des clusters (par la méthode de Louvain

([blondel2008fast](#)). Chaque cluster représente donc des termes qui ont tendance à apparaître ensemble. Nous appelons ces clusters des thématiques dans le sens où ils regroupent différents termes qui ont une certaine proximité. L'ensemble est fait à l'aide du logiciel [Cortext](#).

3.3.1 Identification des thématiques au niveau mondial

Le réseau des termes et thématiques est représenté dans la figure 13. Nous avons supprimé des éléments n'apportant que peu d'information dans le cas présent comme 5G, 5G network, MIMO, 5G applications etc. Après nettoyage nous identifions 17 communautés. Chaque communauté se voit accorder un label que nous utiliserons comme intitulé de la thématique. Dans ces thématiques nous retrouvons par exemple les ADC (Analog to Digital Converters) qui sont une composante des base stations utilisé dans le MIMO, un point technique relativement précis. Il en est de même pour Doppler shift et Doppler spread ou encore le Ricean K-factor. D'autres thématiques sont plus larges et abordent des applications comme le NR V2X (New Radio for Vehicule to Everything), autrement dit, la 5G pour les voitures. De plus, des enjeux spécifiques sont identifiés, comme le secrecy (enjeu de l'anonymat), security mechanisms (enjeu protection des données) et seamless handover (enjeu de transmission entre différents réseaux). Les thématiques identifiées nous donnent ainsi un aperçu des enjeux et des aspects techniques les plus abordés par les communications scientifiques.

En mobilisant ces thématiques, nous allons dans un premier temps regarder dans quelle mesure ces thématiques contiennent des publications financées et non financées. Pour cela nous positionnons chaque thématique dans un espace à deux dimensions. L'objectif est de connaître pour chaque thématique :

- Si la thématique est fréquente dans les communications financées et non financées
- Si la thématique est plus fréquente dans les communications financées que les communications non financées

La visualisation contient ainsi sur chaque axe trois niveaux (peu fréquent, moyenne et fréquent) indiquant le nombre de communications scientifiques pour chaque thématique. Ceci fait sur les deux axes, ainsi lorsqu'une thématique se trouve sur la bissectrice du plan, elle est présente dans les mêmes proportions dans les publications financées et non financées. Plus la thématique se positionne vers la droite, plus elle est présente dans les communications non-financées par rapport aux financées. Cette visualisation est présentée dans la figure 14.

Dans cette figure nous pouvons voir que certaines thématiques sont plutôt présentes dans les publications non-financées, comme *Channel Taps & One-bit ADCs* et *Channel Representation & Virtual Channel*. En effet, ces derniers ont une fréquence supérieure à la moyenne dans les publications non-financées alors que la fréquence est dans la moyenne ou en-dessous dans les publications financées.

Les modèles de prédiction, les enjeux sécurité et le Ricean K-factor sont présents dans les mêmes proportions dans les deux sets.

Les communications financées ont une fréquence plus importante sur les questions de *Doppler Shift & Doppler spread*, les *LEO Sattellites & Synchronization* et la question de la mobilité avec le NR V2X. Il paraît normal que ces questions demandent un financement, en effet les thématiques *Doppler* et *LEO* concernent des questions autour du réseau satellitaire qui demande des investissements importants. La question de la mobilité avec le *vehicule to everything* est surtout d'intérêt pour les acteurs de la mobilité qui ont donc intérêt à financer ces sujets. Un volet européen est par ailleurs dédié à cette question.

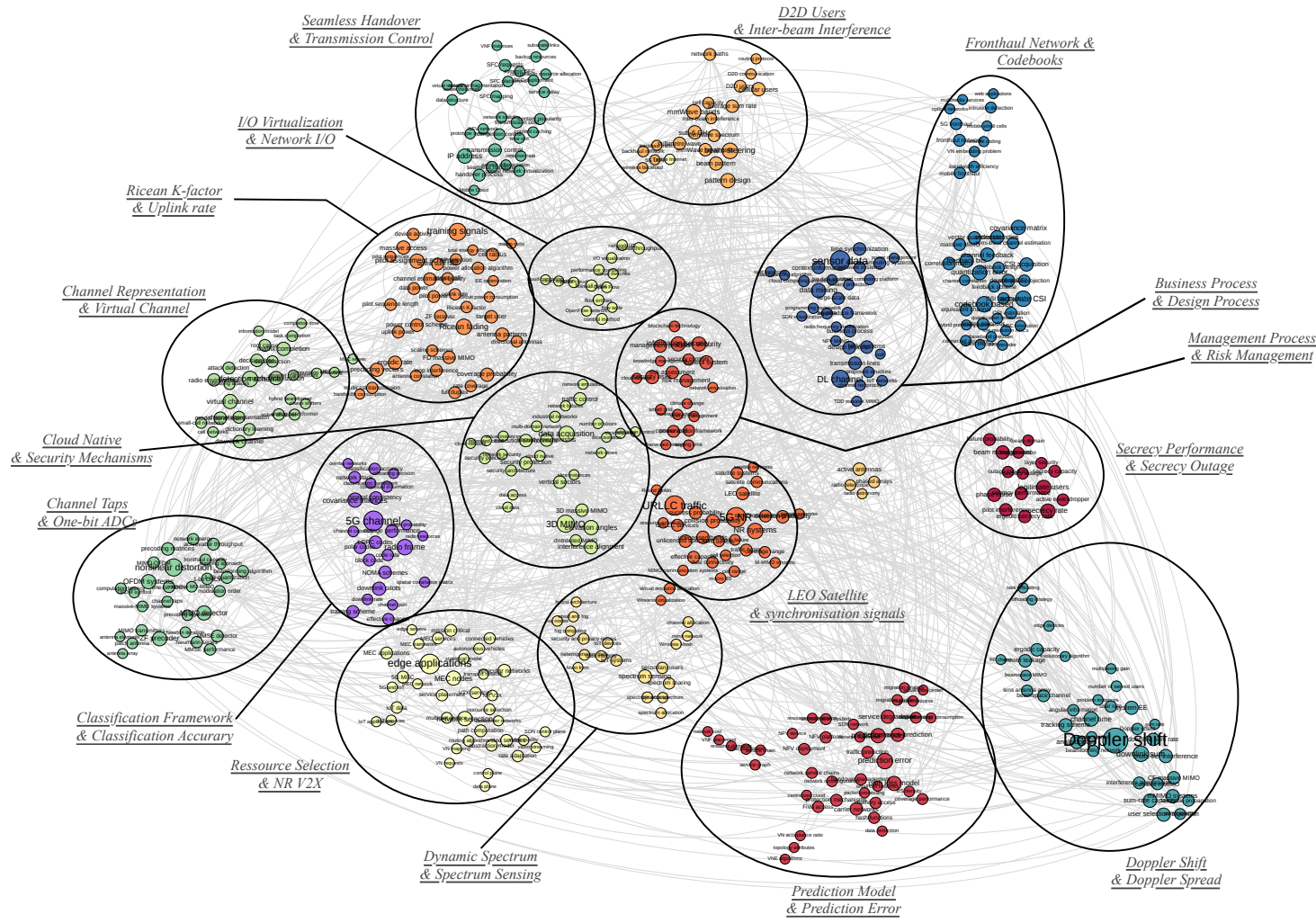


Figure 13. Thématiques identifiées dans les publications dans l'ensemble.

Au-delà des financements, regardons comment se positionne la France par rapport à l'Allemagne dans ces thématiques. Autrement dit, quelles sont les thématiques sur lesquelles la France est plus positionnée que l'Allemagne et vice versa. Dans la figure 15 sont représentés les positionnements des deux pays. L'absence de thématiques sur

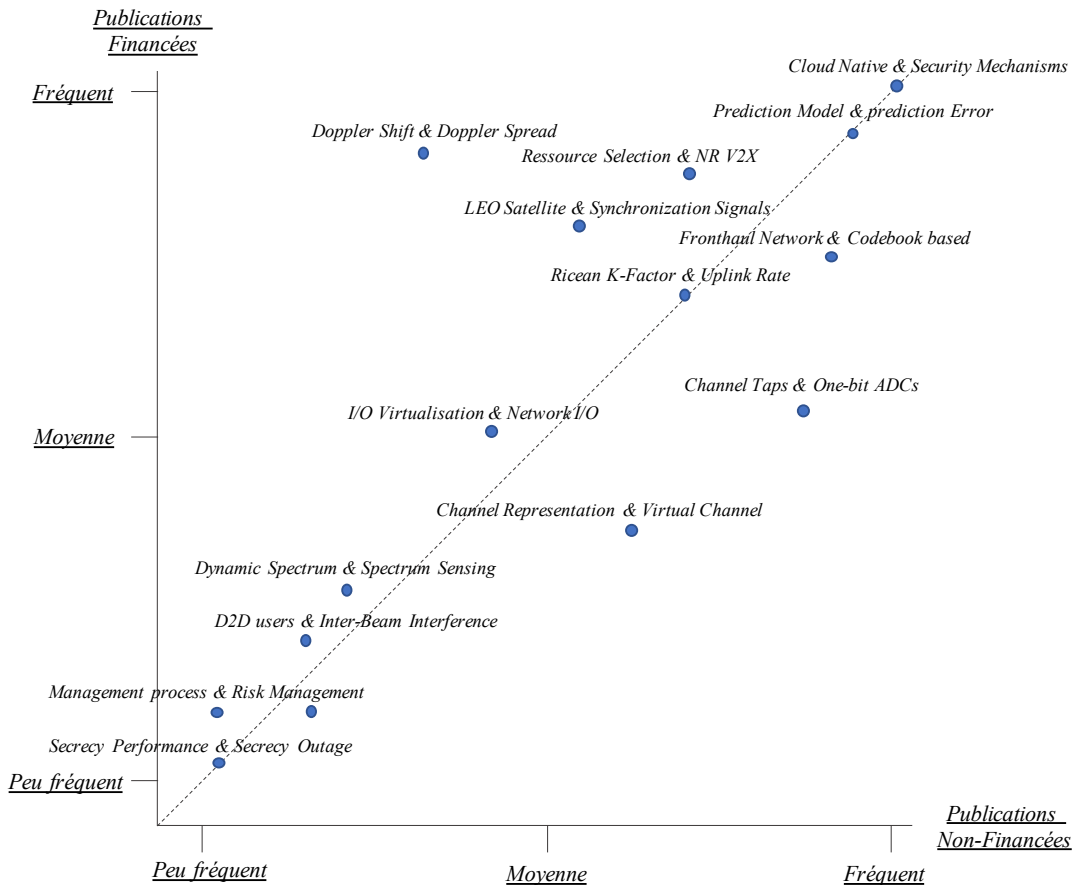


Figure 14. Comparaison des thématiques dans les publications financées et non-financées au niveau mondial. Une thématique sur la bissectrice indique qu'elle est traitée dans les mêmes proportions par les communications financées et non-financées. Plus une thématique s'écarte de la bissectrice plus elle est traitée par les communications desquelles elle se rapproche.

Source : Scopus, Traitement : Cortext et auteurs

la bissectrice montre que les deux pays ne travaillent pas sur les thématiques dans les mêmes proportions. Les acteurs français travaillent sur des thématiques qui sont fréquentes au niveau mondial. Les acteurs allemands se positionnent sur des thématiques qui sont moins fréquentes, mais surtout qui sont moins financées (*Channel Representations & Virtual Channel*, *Channel taps & One Bit ADCs*, *Fronthaul Network & Codebooks*). À l'inverse les acteurs français se positionnent sur des thématiques qui sont plutôt financées (*LEO Sattellites & Synchronization signals*, *Doppler Shift* et *Ricean K-factor & Uplink Rate*). Les deux pays se positionnent sur les thématiques en vogue au niveau mondial, mais il semble que les acteurs français se positionnent plus clairement sur les thématiques financées.

Pour étudier plus en détail le positionnement des acteurs sur les thématiques, nous cherchons les affiliations des communications derrière chaque thématique. Nous relierons ensuite chaque affiliation aux thématiques sur lesquelles elles publient. Dans la figure 16, chaque nœud jaune est une thématique et chaque nœud bleu est un acteur français. Cette visualisation a surtout pour objectif de mieux comprendre les thématiques en représentant quels sont les acteurs derrière. Pour des raisons de lisibilité, tous les labels ne sont pas visualisés. Sur demande nous pouvons communiquer un fichier contenant l'ensemble des labels.

Un nœud se trouvant à l'extérieur du cercle des thématiques est un acteur français se

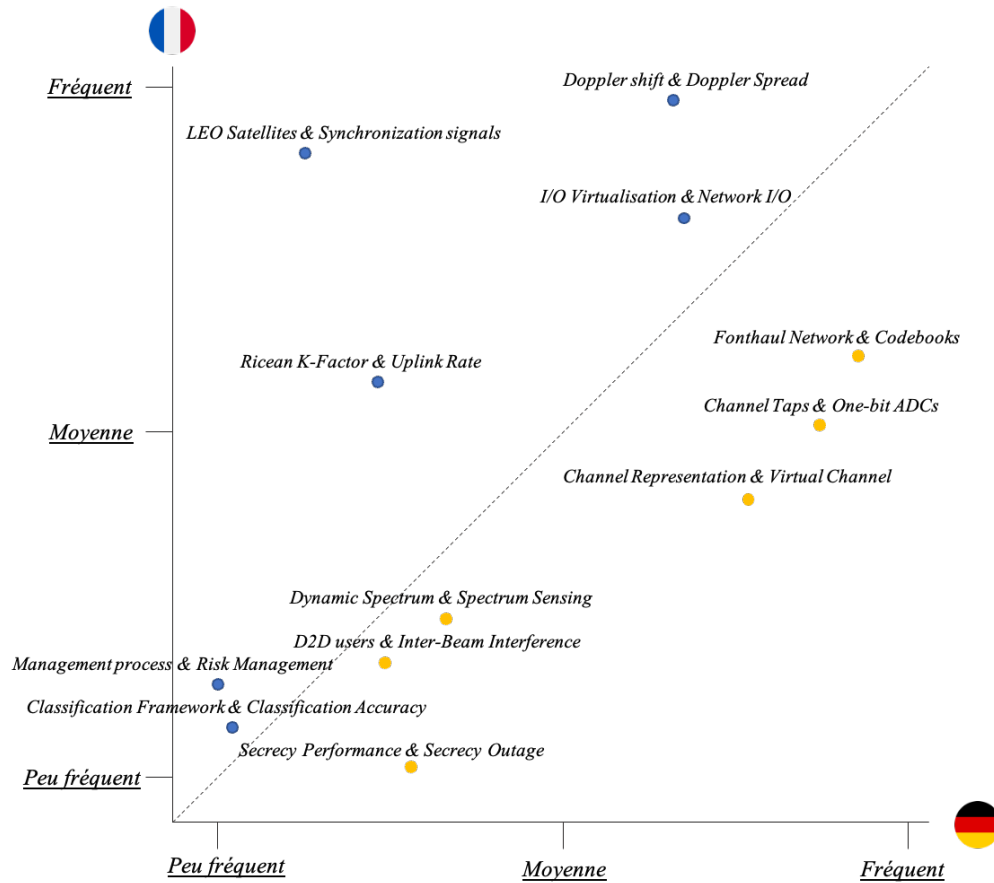


Figure 15. Comparaison des positionnements des acteurs allemands et français sur les thématiques de recherche identifiées au niveau mondial.
Source : Scopus, Traitement : Cortex et auteurs

positionnant uniquement sur une thématique. Plus l'acteur est situé vers le centre de la visualisation, plus il a de thématiques. L'épaisseur de lien représente le nombre de communications classé dans chaque thématique pour l'acteur.

Un grand nombre d'acteurs est positionné sur une seule thématique. Au centre nous retrouvons les acteurs les plus centraux du réseau de collaboration avec Orange Lab, Eurecom, Thales et le CEA. Orange et Eurecom sont positionnés sur une multitude de thématiques, mais ont un lien fort avec la thématique du cloud et mécanismes de sécurité. Au final, Eurecom est le plus diversifié avec des liens forts vers plusieurs thématiques. Ce dernier point n'est pas étonnant étant donné les parties prenantes d'Eurecom.

Nous parvenons aussi à positionner différents laboratoires SAMOVAR, LAAS, L2TI, L2S, LIP6, LIGM, XLIM, LaBRI dans ce réseau. Ce dernier, avec Thales, est les acteurs les plus présents sur la thématique des Satellites LEO. SAMOVAR se positionne sur les thématiques de la prédiction des erreurs et du cloud.

3.3.2 Focus sur les thématiques des acteurs français

Dans ce qui précède, nous avons focalisé sur le positionnement de la France dans les thématiques identifiées dans l'ensemble des publications au niveau mondial. Dans le graphique qui suit, nous regardons uniquement les publications avec au moins une affiliation en France. Les thématiques que nous allons identifier ne sont donc pas forcément les mêmes étant donné que nous ne regardons qu'un subset par rapport à avant. Dans la

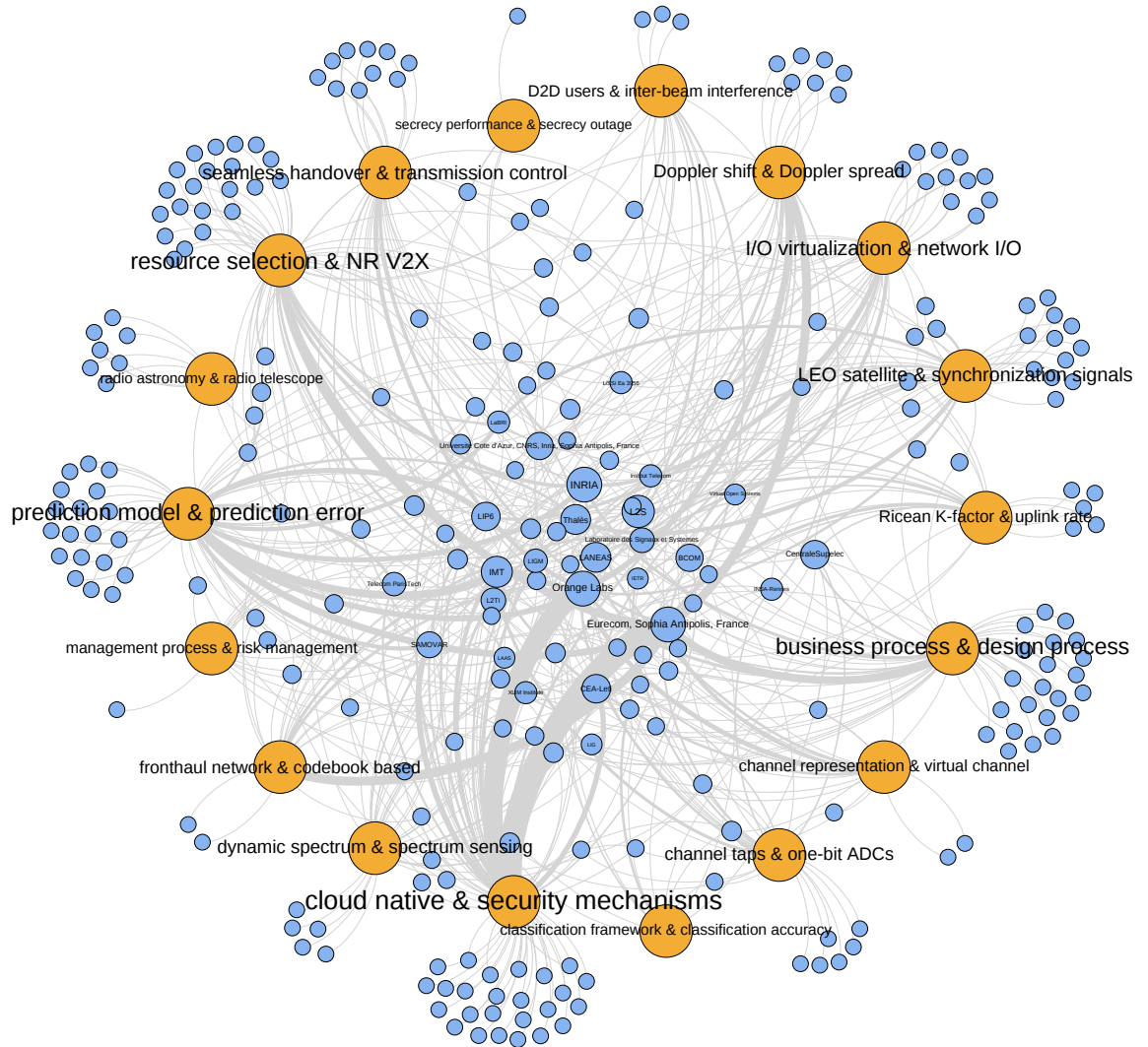


Figure 16. Positionnement des acteurs en fonction des thématiques

figure 17 sont représentées les thématiques et leur propension à être financées. Plusieurs thématiques sont présentes dans les mêmes proportions dans les deux sets, notamment le *MIMO*, *intrusion detection*, *Macro Cell Users* et *Amazon Web Services*. Le segment en haut à droite de la figure 17 contient les thématiques les plus fréquentes pour les acteurs français. Les questions autour des *Neighboring Cells* sont fréquentes mais rarement financées. La thématique *NFV Services* est fréquente dans les publications financées et rarement traitée dans les publications non financées. Dans l'ensemble, les financements attirent des thématiques qui sont traitées dans une mesure moindre dans les publications non-financées.

Il est difficile de conclure qu'une thématique ne serait pas abordée sans la présence des financements. Nous ne disposons pas d'un contre factuel qui permettrait d'estimer cet effet. Nous pouvons cependant dire que les financements ont été mobilisés pour traiter certaines thématiques plus que d'autres.

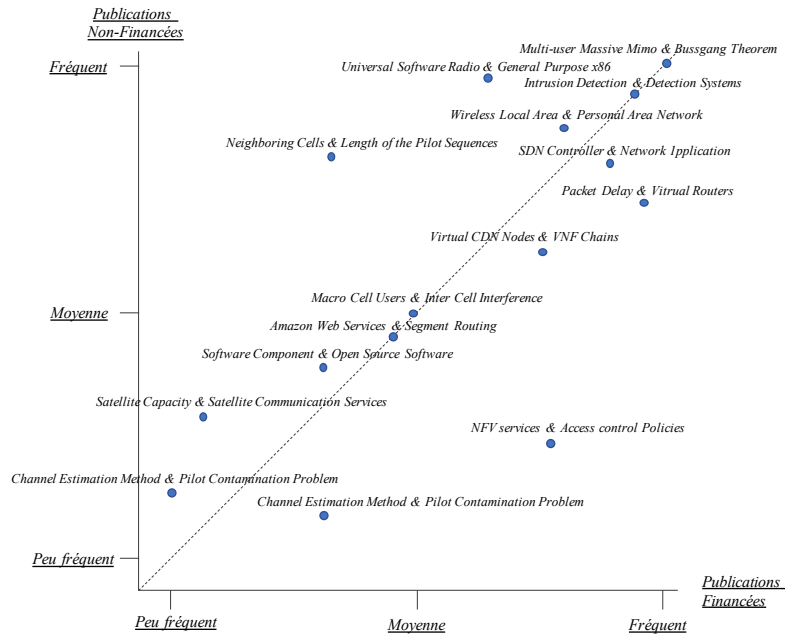


Figure 17. Comparaison des thématiques dans les publications financées et non-financées au niveau des acteurs français. Une thématique sur la bissectrice est commune dans les mêmes proportions aux deux sets. Plus la déviation de la bissectrice est forte, plus elle est spécifique à l'un ou l'autre des sets.

Source : Scopus, Traitement : Cortext et auteurs

A retenir :

- 17 thématiques ont été identifiées dans les publications au niveau mondial.
- Les financements permettent à certaines thématiques d'être traitées plus que d'autres
- La France se positionne sur des thématiques qui ont plutôt tendance à être financées, surtout en comparaison avec l'Allemagne.

4 La France dans les projets européens

Des parties précédentes découle l'importance des projets européens, à la fois en tant que source de financement, mais aussi en tant qu'outil central dans le développement des technologies. L'objectif de cette section est d'analyser la position de la France et des acteurs français dans le financement européen.

Pour cette étape nous avons mobilisé la base de données **CORDIS** mis à disposition par la Commission Européenne.

Une méthode en deux étapes a été utilisée pour identifier les projets pertinents. Dans un premier temps nous avons identifié les projets déclarés par la 5GPPP. En effet, le site de la 5GPPP recense les projets de cœur et les positionne sur une roadmap.

Cette première base a été complétée par une recherche textuelle dans les résumés, noms et résultats des projets FP et horizon 2020. Nous avons cherché des mots clé en lien avec les technologies sous-jacentes à la 5G (MIMO, network virtualisation, 5G, beyond 4G etc.)

Pour cette étape nous avons téléchargé toute la base CORDIS pour avoir une meilleure maîtrise au niveau de la recherche d'informations. Cette étape a ramené des faux positifs que nous avons identifiés en lisant les abstracts des projets. La liste finale contient 192 projets mentionnant les technologies cherchées entre 2014 et 2020. Une partie des projets a été financée dans le cadre du FP7 (notamment en 2014) le reste a été financé dans le cadre d'Horizon 2020. Les résultats qui suivent sont basés sur les 192 projets ainsi identifiés.

La figure 18 montre la dynamique des projets identifiés.

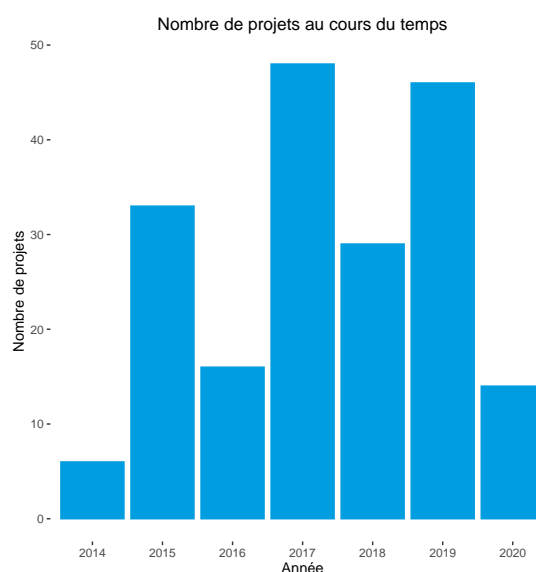


Figure 18. Nombre de projets européens en lien avec les technologies 5G, par an.

Source : CORDIS, traitement : Auteurs.

4.1 Classement des pays et des acteurs

Dans un premier temps, nous allons nous focaliser sur les montants obtenus par les différents pays de l'UE dans les financements de la 5G.

Point technique : La base CORDIS renseigne le montant de financement reçu pour chaque acteur dans un projet. Nous agrégeons les montants des acteurs individuels pour obtenir les Montants par pays. La localisation géographique est retenue pour juger de la nationalité d'un acteur. Ainsi Atos Spain SA est classé comme un acteur espagnol

même si la maison mère est Française. Huawei Dusseldorf est considéré comme un acteur allemand. Ce choix est fait dans une logique de localisation géographique des compétences.

Des acteurs extérieurs à l'UE peuvent participer à des projets européens, mais ne reçoivent pas de financement de la part de l'UE. Ainsi, ils n'apparaissent pas dans les classements en termes de montant, mais peuvent être présents ailleurs (collaborations notamment).

Les montants des 20 premiers pays sont reportés dans la figure 19. L'Allemagne est en tête de classement suivie par la France. L'écart de financement entre les deux pays s'élève à 34 millions d'euros.

Un écart important apparaît aussi entre l'Italie et la Suède (27 millions d'euros.) Le montant reçu est fortement corrélé avec la taille du pays.

La position de l'Allemagne est portée par Fraunhofer qui est en tête de classement des acteurs financés, suivie par Ericsson qui reçoit 50% de moins (figure 20). Au niveau des acteurs allemands, nous retrouvons ensuite un centre interuniversitaire plutôt axé sur la recherche fondamentale et trois acteurs industriels (Eurescom et Huawei et NEC). Eurescom est une firme de management de projets qui est employé dans le cadre des projets PPP notamment pour gérer les projets, tenir les sites web, etc. Huawei et NEC ont une maison mère en Chine et Japon respectivement, mais ont choisi l'Allemagne pour leur centre de R&D européen. Ceci résulte en un impact non négligeable en termes de financement obtenu.

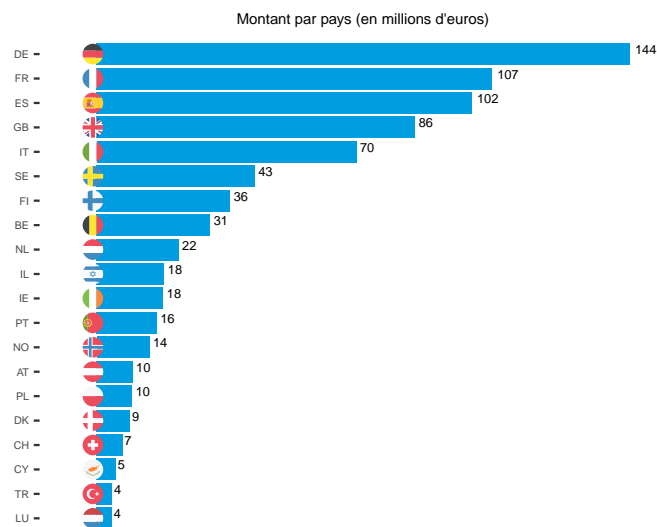


Figure 19. Montant reçu par chaque pays, en millions d'euros. Ce montant correspond à la somme des montants individuels reçus par les acteurs nationaux.

Source : CORDIS, traitement : Auteurs.

La France est financée surtout par le biais du CEA, Orange, Eurecom et Thales qui se présentent dans le top 20 des acteurs financés. Les acteurs de la recherche sont moins visibles dans le top 20. Fraunhofer est un organisme de recherche composé de 72 instituts spécialisés dans une variété de domaines, dépassant largement celles des télécoms. L'institut est comparable au CNRS dans le sens où elle agrège plusieurs instituts. Dans les projets européens, les acteurs français déclarent leur laboratoire ou affiliation principale. Le CNRS n'est pas systématiquement pris en compte. Ceci crée un effet plus atomisé dans les financements français.

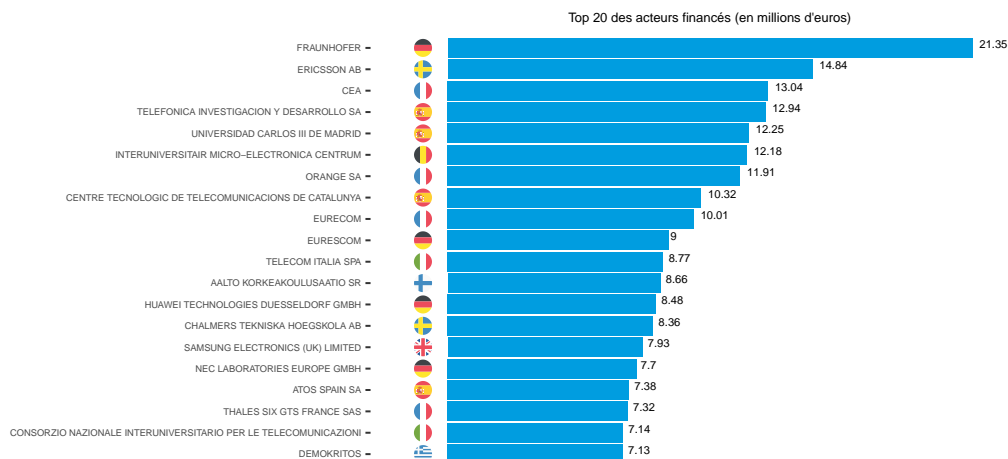


Figure 20. Montant reçu par acteur dans les projets en lien avec la 5G.

Source : CORDIS, traitement : Auteurs.

Dans la figure 21 le top 20 des acteurs français est présenté. Nous retrouvons quelques acteurs publics (CEA, CNRS) avec une large majorité d'acteurs privés ou des formes d'entités hybrides. Eurecom, est un groupement d'intérêt économique (GIE), hébergé à Sophia Antipolis avec l'institut mines telecom comme membre fondateur. Associés sont plusieurs acteurs européens de la recherche (Université d'Aalborg, Politecnico di Torino, Norwegian University of Science and Technology, Université de Liège,...) et industriels (SAP, BMW, Orange). La structure a pour objectif la mise en commun d'une capacité de recherche fondamentale et un objectif d'industrialisation. Nous retrouvons aussi le GIE III-V lab qui associe Nokia, Thales et le CEA.

Nous retrouvons des éléments similaires dans l'institut Vedecom. Créé par les plans d'investissement d'avenir, Vedecom est un institut de transition écologique (ITE) regroupant acteurs publics et privés. L'objectif, proche de celle d'Eurecom, est de soutenir la recherche tout en renforçant l'industrie.

B-Com se positionne aussi dans cette logique. Acteur de la recherche privé, B-com a un objectif de soutenir la compétitivité des acteurs. La liste des parties prenantes est longue⁹).

Les acteurs de la recherche fondamentale sont moins présents ici ou sinon par le biais de ces instances avec une orientation forte de la recherche par les acteurs privés. Cette influence privée semble nécessaire dans ce domaine qui tourne autour de la normalisation.

L'existence des instances telles que Vedecom, Eurecom et B-com, assure une cohérence entre l'orientation de la recherche fondamentale et l'utilisation de cette recherche dans le monde industriel. Ceci va dans le sens des objectifs de la CE en termes de recherche, facilitant l'obtention de fonds européens.

A retenir :

- La France se positionne en seconde position en termes de montants reçus
- Le CEA, Orange, Thales et Eurecom sont dans le top des acteurs les plus financés au niveau européen
- Au niveau français, les universités sont surtout présentes indirectement par le biais des GIE et ITE (Vedecom, Eurecom, B-com).

9. <https://b-com.com/en/discover-us/bcom-galaxy#shareholders>

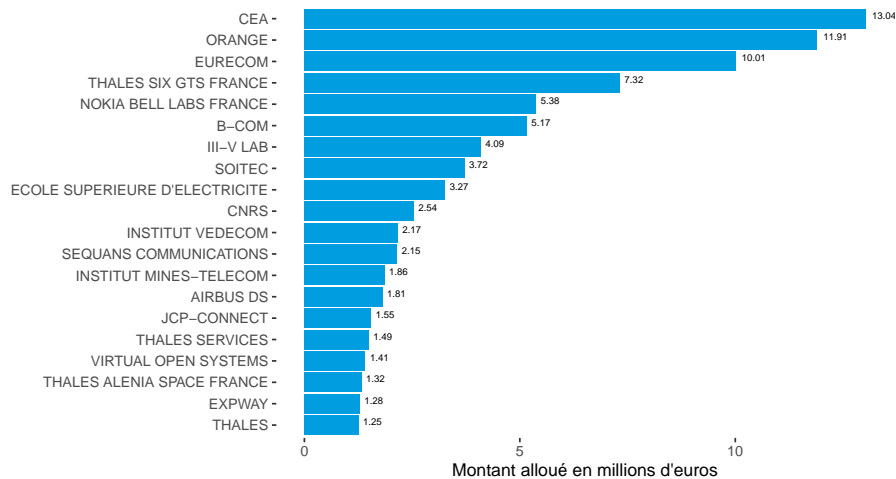


Figure 21. Top 20 des acteurs français financés en termes de montant.

Source : CORDIS, traitement : Auteurs.

4.2 L'écosystème des projets européens

La collaboration internationale est un moyen de mettre en œuvre des flux de connaissance et tirer profit des expertises des différents acteurs du territoire. En ce sens, la CE finance des projets qui mobilisent plusieurs acteurs et montre une cohérence dans les expertises des participants. Afin d'analyser la position de la France dans cet ensemble, nous représentons les participants aux mêmes projets par un réseau de collaboration. Dans ce réseau, chaque nœud est un acteur, chaque lien implique au moins un projet en commun. La taille des nœuds correspond au nombre de collaborateurs. Pour mettre en avant la position de la France, nous colorions les acteurs français en bleu. A titre de comparaison, les acteurs allemands sont coloriés en jaune. Les acteurs chinois sont coloriés en rouge. Le réseau est représenté dans la figure 22.

Le réseau résulte de l'agrégation de plusieurs projets européens. Les cliques qui se situent en périphérie du réseau correspondent donc à des projets mobilisant des acteurs qui ne sont présents que dans peu de, voire un seul, projet. Sur la droite nous observons une clique mobilisant l'ETSI, ERCIM et Thales DIS correspondant à un projet sur l'Opentech en IoT. Juste en dessous, un projet sur la diffusion des ondes dans les bâtiments mobilise aussi des acteurs chinois. En bas du réseau, une clique autour de Vedecom correspond à un projet sur le sujet de la mobilité et 5G. Dans ce type de réseau, la centralité d'un acteur provient de sa présence dans une multitude de projets mobilisant différents acteurs. Les positions d'Orange, Eurecom et B<>Com résultent d'une présence dans des collaborations avec une diversité d'acteurs. Cependant nous notons la proximité des trois acteurs français. Dans cette partie du réseau, nous retrouvons aussi Nokia Bell Labs France (anciennement Alcatel-Lucent). Ces acteurs ne sont pas uniquement proches dans les projets, mais le sont plus largement, Orange et Nokia étant shareholders de B<>Com et d'Eurecom. Le CEA, Thales et II-V lab se trouvent plus éloignés dans le réseau, et nous notons que les positions des différentes divisions de Thales sont relativement éloignées l'un un des autres.

Au global les acteurs français sont omniprésents dans le réseau de collaboration et nouent des liens avec les acteurs majeurs du domaine. Au niveau français, Eurecom, Orange, Thalès, le CEA et Nokia Bell Labs France structurent l'écosystème. La figure 23 visualise l'écosystème des projets européens ayant au moins un participant français. Il s'agit donc d'un sous-ensemble du réseau de la figure 22. Le cœur du réseau est structuré autour

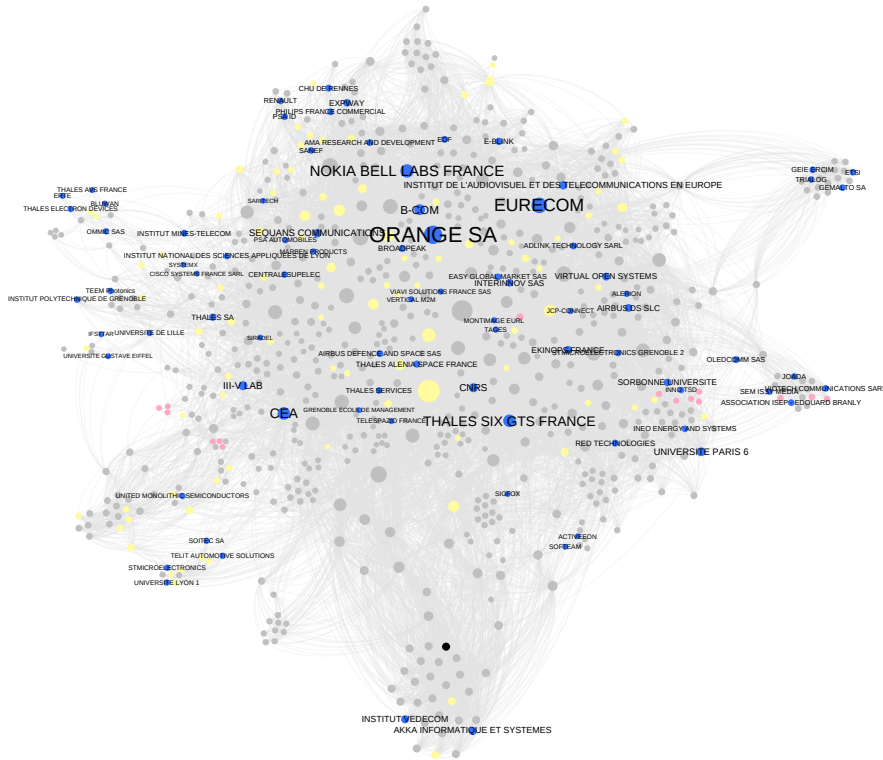


Figure 22. Réseau de collaboration dans les projets européens dans les technologies en lien avec la 5G. Les nœuds bleu correspondent aux acteurs français, Jaunes aux acteurs allemands et rouge aux acteurs chinois.
Source : CORDIS, traitement : Auteurs.

d'Orange, Thalès, le CEA et Nokia bell. Le GIE Eurecom joue aussi un rôle structurant à proximité d'un de ses partenaires, Orange. Le cœur du réseau est relativement dense, montrant une cohérence dans l'écosystème, mobilisant souvent les mêmes partenaires pour plusieurs projets. Cependant quelques projets sont plus en périphérie du réseau. Il s'agit de projets qui sortent du cœur de la technologie et traitent d'applications particulières.

Plus largement, la France a le plus grand nombre de collaborateurs en Allemagne, en Grande-Bretagne, en Espagne et en Italie (figure 24). Moins visible dans les résultats précédents est la présence de la Grèce. Avec 47 collaborateurs, la Grèce se positionne en cinquième position. Cependant, elle n'est pas présente dans le top 20 en termes de financement. Ceci indique que même si la France collabore avec les acteurs grecs, ils reçoivent des financements modestes comparés aux acteurs français.

Afin de détailler un peu plus ces liens, nous regardons les collaborateurs des acteurs français. Notamment, nous calculons le nombre de collaborateurs pour chaque acteur dans le réseau international. Ensuite identifions combien de ces collaborateurs sont français. La figure 25 montre ainsi que Fraunhofer dispose de 317 collaborateurs, dont 32 français. Proportionnellement, ce sont Fraunhofer (10%), Ericsson (15%) et l'Interuniversitaire Micro-electronica Centrum (12%) qui ont le plus de lien avec des acteurs français. Nous voyons ici apparaître les acteurs grecs en milieu de classement renforçant l'hypothèse que nous avons formulée plus tôt. Ces acteurs ont un nombre de collaborateurs important tout en recevant peu de financement. Ceci peut s'expliquer par une présence dans quelques projets ayant un nombre significatif de collaborateurs.

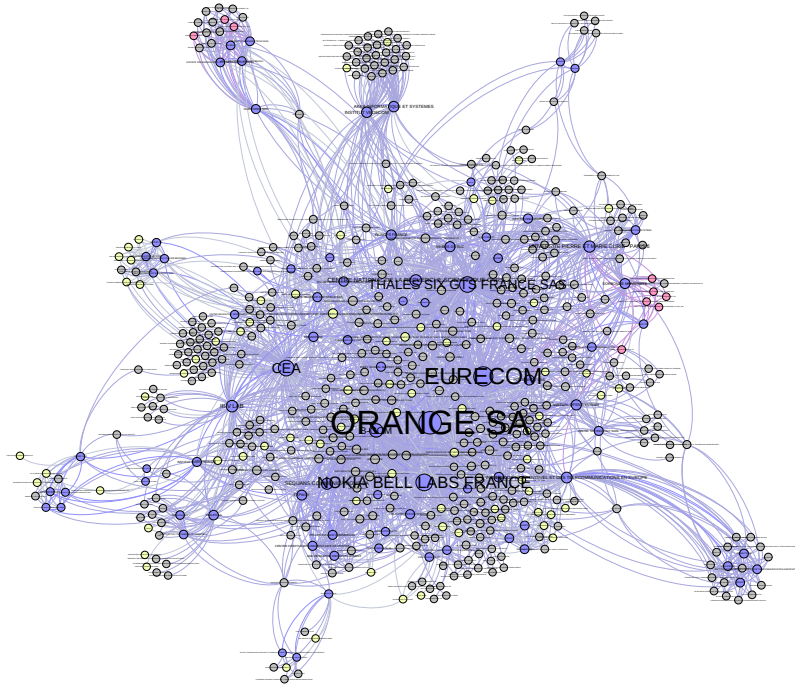


Figure 23. Réseau de collaboration des acteurs français dans les projets européens en lien avec la 5G. Les nœuds bleus indiquent les acteurs français, les nœuds jaunes les acteurs allemands, les nœuds rouges les acteurs chinois.

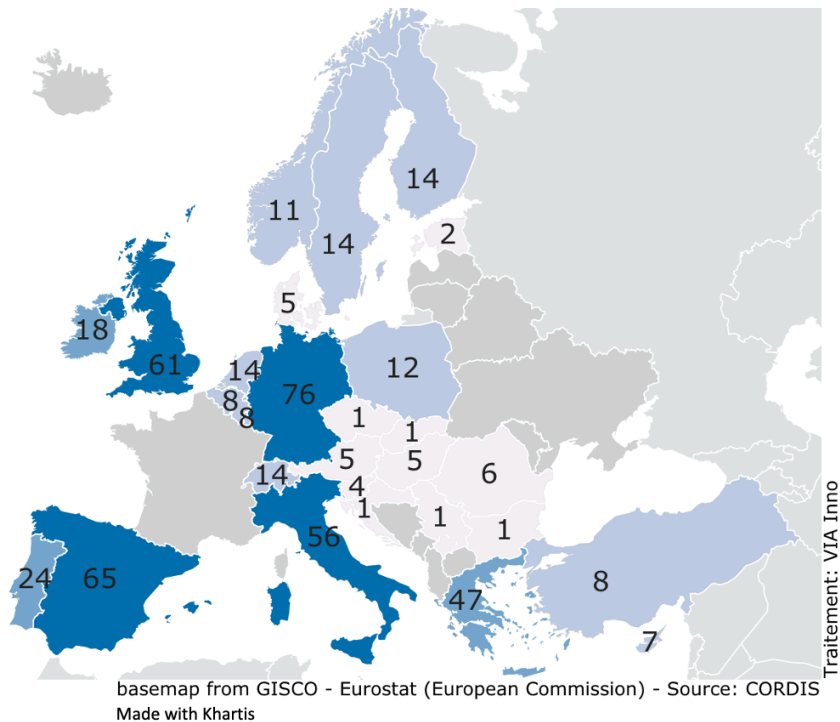


Figure 24. Nombre de collaborateurs des acteurs français dans les projets européens en lien avec la 5G. Couleur en fonction du nombre de collaborateurs.

A retenir :

- Les acteurs français se positionnent au centre de L'écosystème européen
- Les acteurs français sont omniprésents dans le réseau européen

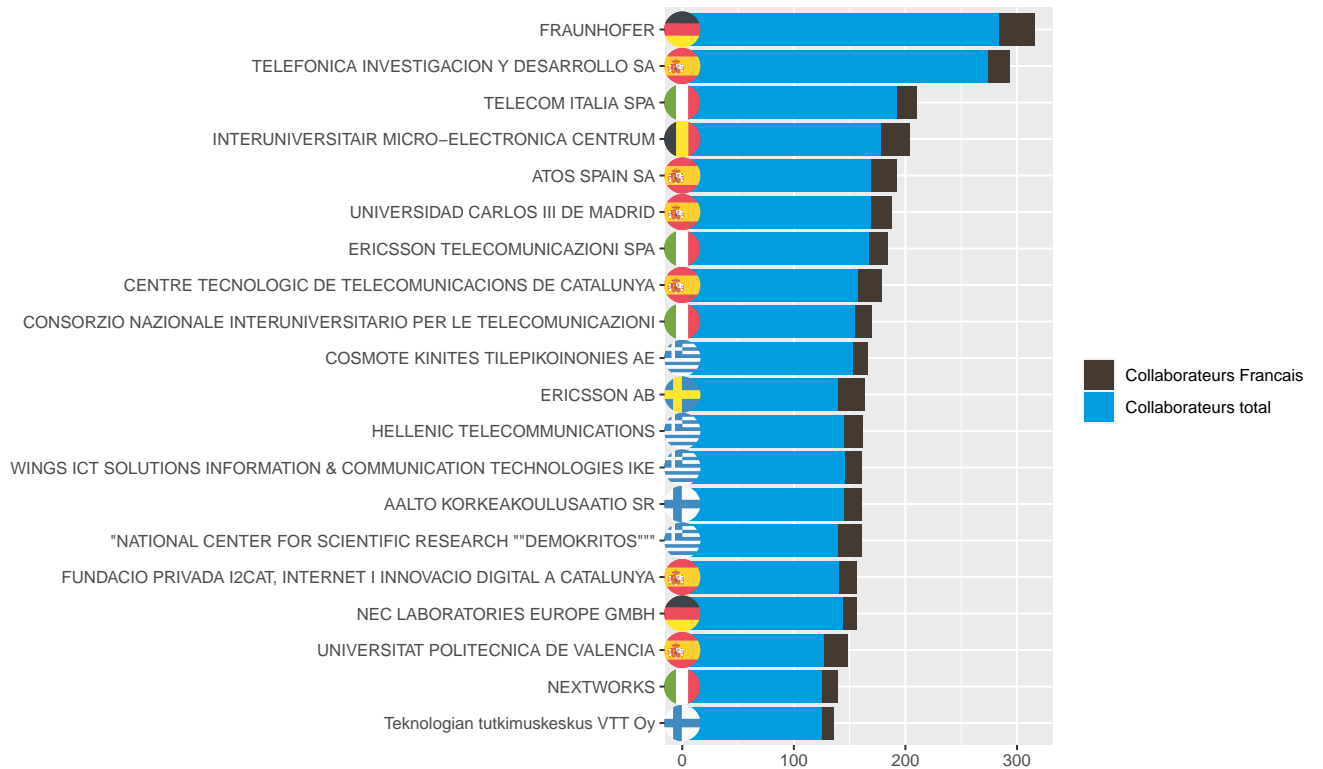


Figure 25. Plus grand collaborateurs des acteurs français. En bleu le nombre de collaborateurs hors acteurs français. En marron le nombre de collaborateurs français.

Source : CORDIS, traitement : Auteurs.

- L'écosystème français est structuré par les acteurs industriels soit directement (Orange, Thalès, Nokia) soit indirectement (Vedecom, Eurecom, Ill-V lab).
- Les acteurs français collaborent surtout avec l'Espagne, L'Allemagne, l'Italie et la Grande Bretagne.

4.3 Positionnement des acteurs français en fonction des thématiques

Dans cette sous-section, nous allons nous focaliser sur les thématiques traitées, leur évolution et le positionnement des acteurs sur ces thématiques. Nous appliquons la même méthode que pour les communications scientifiques de la section 2. Les thématiques sont présentées dans la figure 26.

Les thématiques identifiées dans les projets européens se distinguent de celles des communications scientifiques à deux niveaux. Dans un premier temps, nous identifions des thématiques qui sont relatives à des enjeux au niveau européen :

- Economic growth
- Car safety
- Cost-effective Solutions
- ICT Standards
- Fourth Industrial Revolution
- Interoperability of 5G
- Quality of experience (au niveau du streaming video)

Ces enjeux sont en cohérence avec les objectifs fixés par la CE pour l'innovation en Europe en général et la 5G en particulier.

La question de l'industrie automobile revient dans plusieurs thématiques (car safety, Automotive industry et indirectement dans la quatrième révolution industrielle). Cependant, les acteurs français de l'automobile ne sont présents qu'en périphérie du réseau de collaboration (Stellantis (ex-PSA), et Renault). Dans l'ensemble, les constructeurs automobiles ne sont que peu présents, uniquement Volvo et Volkswagen sont identifiés. Ces acteurs participent dans des projets autour de l'autonomisation des véhicules avec un objectif d'étudier l'interface avec les routes intelligentes et réduire les problèmes de compatibilité entre pays (qui peuvent avoir des routes intelligentes différentes). Ces projets mobilisent les acteurs centraux de la 5G tels que Nokia, Ericsson et Huawei. Même si la thématique des véhicules autonomes est présente dans les projets, les acteurs de l'industrie ne se positionnent pas comme leaders, mais semblent prendre une position de consommateur du résultat.

L'objectif de standardisation fixé dans le contrat 5GPP ressort aussi dans les thématiques, en lien ici avec les business models. Plus largement la question de la rentabilité est sous-jacente à différentes thématiques. (Economic growth, Cost-effective Solutions, Economic Viability). Là où les publications scientifiques se focalisent sur les solutions techniques (tout comme les brevets), les projets posent clairement l'enjeu de la pertinence des choix technologiques. Le contrat de création de la 5GPP a parmi les missions décrites le soutien à l'émergence de nouveaux modèles économiques.

Les thématiques montrées dans le réseau de la figure 26 sont extraites sur l'ensemble des projets. Afin de mieux les thématiques au cours de l'émergence de la 5G, nous allons regarder la dynamique des thématiques.

Point Technique : Pour identifier la dynamique des thématiques, un réseau textuel est calculé à différentes dates contenant uniquement des projets correspondants à la date. Les thématiques sont extraites par modularité et reportées dans le graphique.

Le réseau de la période suivante est comparé au premier. Si les termes qui dans le premier réseau constituaient deux thématiques sont dans une seule thématique dans le second ceci sera visualisé par des lignes qui se rejoignent. Dans la figure 27 la thématique "Control Plane & Transport Network" se scinde en deux : "Forecast network & network edge" et "5G Radio Access & Proposal Adresses".

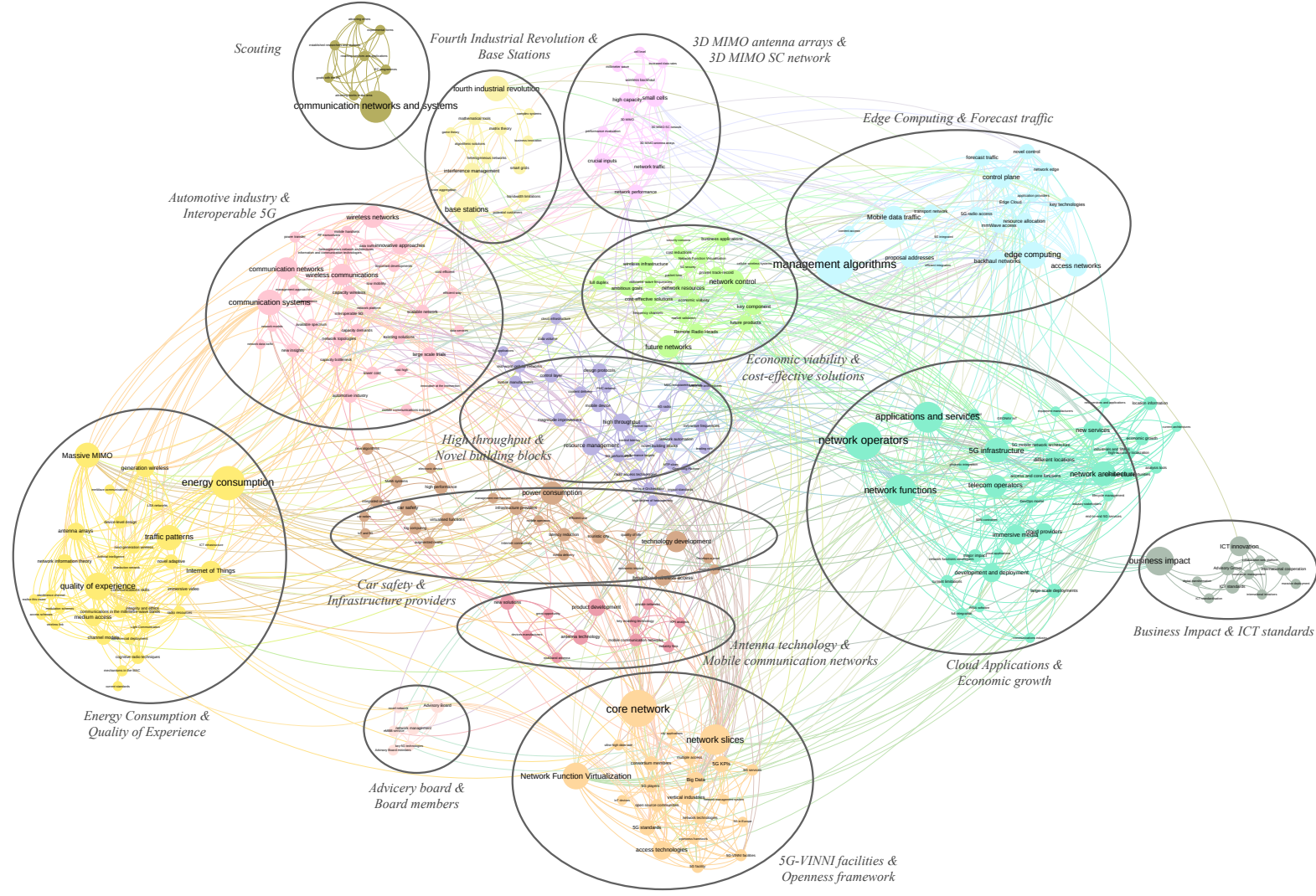


Figure 26. Réseau textuel des termes dans les projets européens en lien avec la 5G. La couleur des noeuds correspond à une identification des communautés par maximisation de la modularité.

La dynamique des thématiques nous montre que les projets en début de période adressent surtout des questions générales : "Unique features", "Use cases", "business appli-

cations”.

Les vagues de projets suivantes mettent en avant des éléments plus techniques “5G Architecture”, “Massive MIMO”, “Immersive Media”, “Base stations”. C’est aussi le moment où certains enjeux font surface ainsi que la standardisation qui apparaît à plusieurs périodes. La fin de la période montre des thématiques de recherche se focalisant sur l’utilisation de la 5G. Nous voyons ainsi apparaître “Technical Performance”, “Quality of life”, “Video Service”, “Car safety” et “Market Validation”.

Le cycle des financements évolue donc avec la technologie tout en restant dans la logique des objectifs de la 5GPPP et de ceux de la CE.

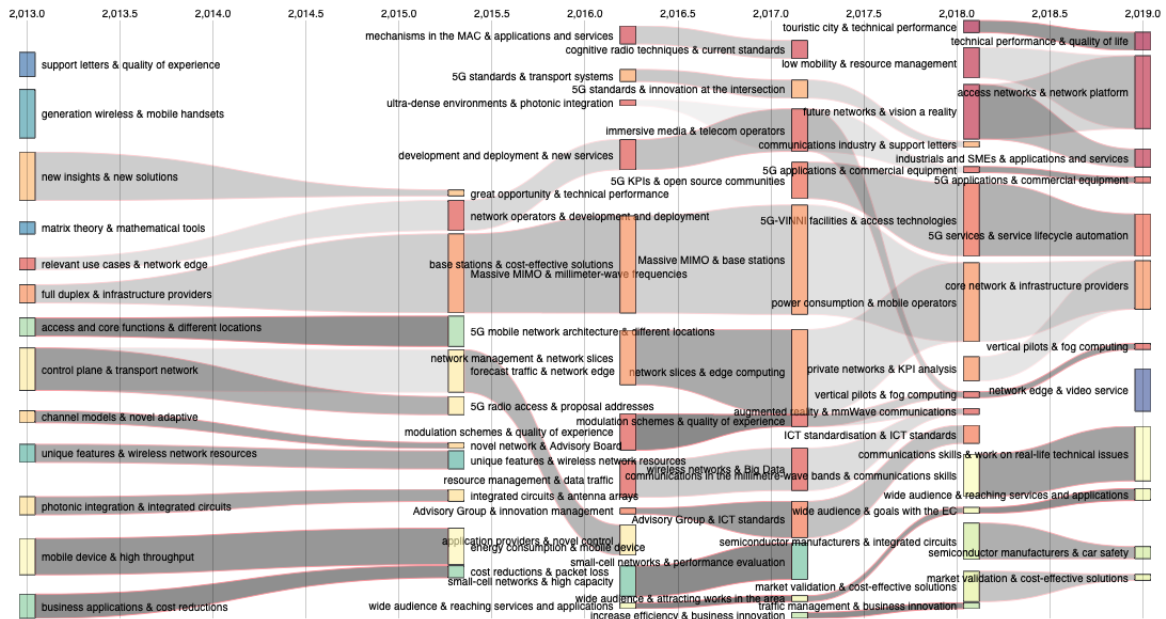


Figure 27. Dynamique des thématiques dans les projets européens en lien avec la 5G.

Source : CORDIS. Traitement : auteurs, à l'aide de CORTEXT

Pour pouvoir identifier les acteurs français positionnés sur les différentes thématiques, nous créons un graphe de positionnement thématique. Dans la figure 28 chaque nœud orange est une thématique, les nœuds bleus sont les acteurs français. Plus un nœud est central, plus l'acteur est différencié d'un point de vue thématique. Plus le lien est épais, plus l'acteur a de termes en commun avec la thématique identifiée.

Parmi les éléments notables, nous notons la présence d'un seul acteur positionné sur la thématique de la quatrième révolution industrielle (Supélec) qui regroupe pourtant 31 acteurs au niveau européen.

Nous identifions ici plusieurs acteurs moins visibles dans les autres analyses. La table 3 donne 22 firmes françaises présentes dans les projets identifiés. La taille de ces firmes varie entre 1 et 5000 employés. Nous identifions ici quatre TPE, et neuf PME avec moins de 50 employés. Sept de ces acteurs ont levé des fonds par des investisseurs français et étrangers montrant un intérêt pour la technologie développée par ces acteurs. Cependant, le dernier investissement au niveau de ces acteurs date de 2017. Expway, dernier acteur avoir été financé a été racheté par un autre acteur français : Enesys après avoir été financé par le fonds de solidarité FTQ, NTT Docomo, Innovation Capital, I-Source Gestion et Isatis Capital. Par ailleurs, parmi les 22, OMMIC et Broadpeak ont été rachetés par des acteurs étrangers, SIRADEL par Engie.

Les plus petits acteurs sont plutôt positionnés sur une seule thématique contrairement aux gros acteurs. Nous retrouvons ainsi Thalès, Orange, le CEA et Nokia Bell Labs avec des liens forts vers différentes thématiques. B<>Com a une position semblable, mais moins avec des

liens moins forts, alors qu'Eurecom se rapproche de la question de l'Openness et 5G vinni.

SIGFOX	ActiveEon	Oledcomm	Bluwan	Alerion
Broadpeak	Expway	Siradel	Marben Products	JCP Connect
Telit	Teem Photonics	RED Technologies	Montimage	
Softteam S.A.	Viavi Solutions	OMMIC	Virtual Open Systems	
E-Blink	Soitec	VERTICAL M2M	Viotech Communications	

Table 3. Acteurs industriels identifiés dans les projets européens.

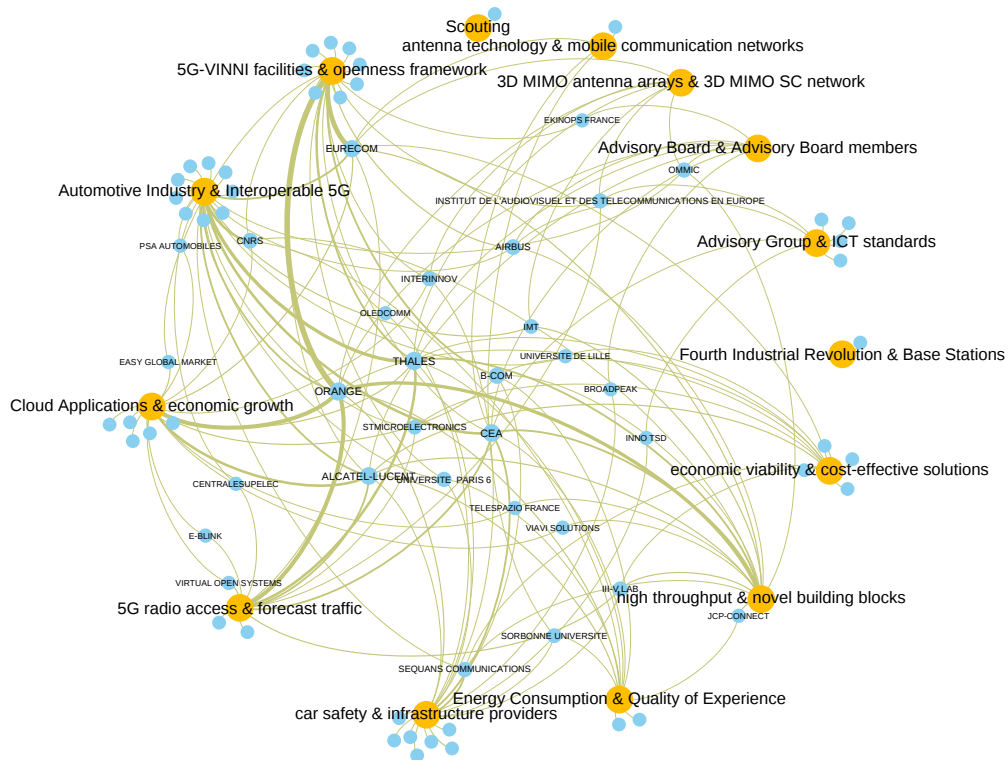


Figure 28. Positionnement des acteurs français sur les thématiques européennes. La position des acteurs est définie par la proximité avec les thématiques. Un acteur au centre est diversifié sur plusieurs thématiques. Un acteur à proximité d'une thématique a plus de projets en lien avec cette thématique. Source : CORDIS. Traitement : Auteurs

A retenir :

- Les thématiques identifiées par analyse textuelle mettent en avant les enjeux de la Commission Européenne
- La France se positionne plutôt sur les thématiques de fond (Cloud, 5G Radio Access, Car safety, Video).
- Une absence de positionnement sur la thématique de la Quatrième Révolution Industrielle
- 22 Start-ups identifiées dans les projets européens, notamment sur l'IoT. Quatre ont fait l'objet de rachats. Arrêt des levées de fonds en 2017. Les Projets européens peuvent être un moyen alternatif pour lever des fonds.

5 Le financement par l'ANR

Dans cette section nous focalisons sur les financements proposés par l'ANR. L'objectif est d'analyser dans quelle mesure l'ANR finance la recherche sur les technologies en lien avec la 5G.

Les objectifs donnés aux appels à projets peuvent changer par période. Cependant l'incitation à la collaboration et un soutien à la recherche fondamentale se présentent comme ligne rouge au moins sur la période que nous étudions (ANR 2010, 2016, 2021).

Point Technique : Origine des données :

L'identification des projets ANR est faite à partir de l'agrégation de plusieurs bases disponibles sur data.gouv.fr. Les trois bases diffèrent en termes de couverture et dans les variables disponibles. Nous avons agrégé les trois et cherché les mots clés dans l'abstract (après avoir harmonisé la langue), le titre et les mots-clés des projets.

Sur les projets identifiés, les informations manquantes, notamment sur les participant et les montants ont été ajoutés à la main en nous basant sur les informations disponibles sur le site de l'ANR.

La méthode décrite nous permet d'identifier 22 projets financés autour des technologies de cœur de la 5G (MM wave, New Radio, Virtualization) pour lesquels nous avons pu retrouver l'ensemble des informations. La dynamique de ces projets est donnée dans la figure 29. La majorité des projets font l'objet d'une collaboration (au niveau des institutions). L'année 2020 et 2016 présente des pics pour la période. 2016 représente le lancement de la vague 2016-2019, avec un appel à projets qui notifie les réseaux de télécommunication comme un défi sociétal et propose un axe de recherche sur la 5G¹⁰. 2020 correspond à une année où la communication était présente dans différents axes des appels à projets. Notamment l'axe de recherche 5.4¹¹ sur les sciences du numérique. Une partie des appels à projets se fait déjà en cohérence avec les appels à projets européens.

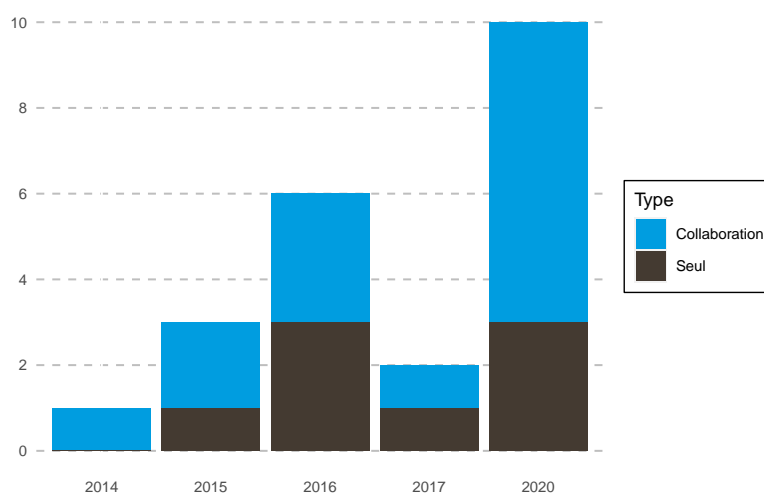


Figure 29. Nombre de projets ANR par an. Les projets sont différenciés en fonction du nombre de participants. Un projet avec un seul participant est noté comme projet seul, plusieurs participant est noté comme collaboration.

Sources : data.gouv.fr. Traitement : Auteurs

10. [Lien vers l'appel à projet générique 2016](#)

11. [Lien vers l'appel à projet générique 2020](#)

Les montants alloués dans la figure 30 montrent un pic important sur l'AAP 2020 qui dépasse largement les années précédentes. Étonnamment le montant alloué en 2015 est supérieur au montant de 2016 alors que nous observons un nombre moins important de projets sur l'année.

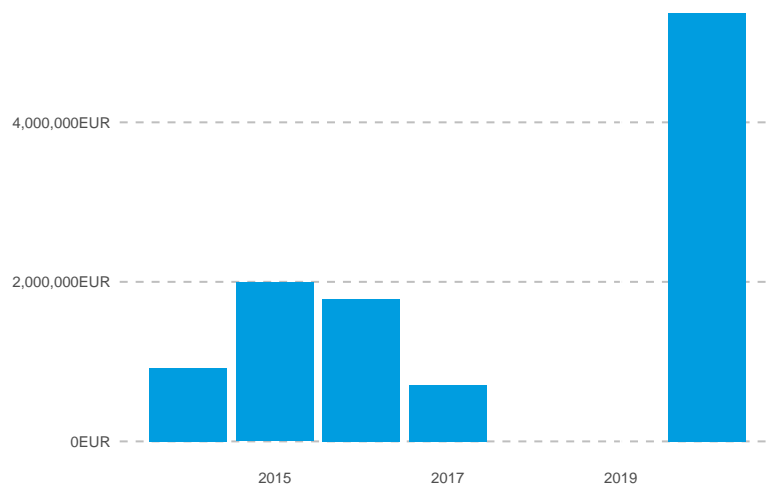


Figure 30. Positionnement des acteurs en fonction des thématiques traitées dans les projets financés par l'ANR.

Sources : data.gouv.fr. Traitement : Auteurs

5.1 Ecosystème dans les projets ANR

Lorsque nous regardons les acteurs financés dans le cadre de ces appels à projets, nous retrouvons surtout des acteurs que nous avons déjà identifiés dans les projets européens et les publications scientifiques. La figure 31 fournit le top 20 des acteurs en termes de volumétrie de projets. Thalès, Orange, IMT, CEA, Leti, L2S sont des acteurs que nous avons déjà vus fortement présents dans l'écosystème. Teamcast n'a pas fait son apparition, mais a été racheté par Enesys qui lui est bien positionné dans l'écosystème.

Les acteurs qui sont moins visibles dans les projets et les publications sont Merce Mitsubishi, FEMTO-ST et l'institut Langevin. Comme pour les projets européens, nous retrouvons dans les ANR un mélange d'acteurs industriels et d'acteurs de la recherche, avec des laboratoires plus clairement identifiables.

L'appel à projets de l'année 2020 attire surtout de nouveaux acteurs dans les projets, IMT, IMS, FEMTO-ST, merce et Leti. L'AAP de 2020 focalise sur les infrastructures de télécommunications, sujet sur lequel nous avons pu identifier ces acteurs précédemment dans les projets européens.

Pour compléter ce panorama, nous regardons les collaborations entre les acteurs des projets. Le réseau permet d'identifier des acteurs qui collaborent moins, mais qui prennent une place importante dans l'écosystème par leurs collaborations. Dans la figure 32, le réseau permet l'identification de notamment TRCOM, Parrot et Annealsys qui prennent une place intéressante en termes de collaborations. Dans l'ensemble nous retrouvons les acteurs industriels en position centrale et des acteurs de la recherche qui prennent une place plus visible que dans les autres réseaux.

Certains acteurs font appel à un écosystème propre comme Femto-SP, STMicroelectronics, XLIM et L2E. Il en résulte une composante secondaire dans le réseau mettant en avant qu'ils

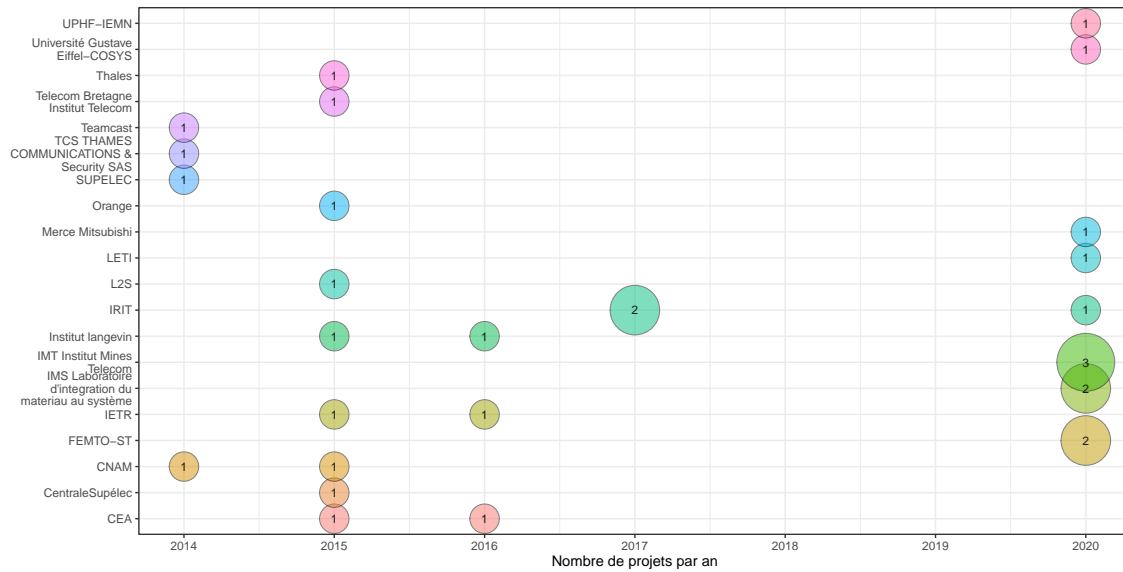


Figure 31. Top acteur avec le détail du nombre de projets par an entre 2014 et 2020. Le chiffre dans la bulle correspond au nombre de projets dans lequel l'acteur participe. Sources : data.gouv.fr. Traitement : Auteurs

ne sont pas intégrés, sur les thématiques recherchées ici, dans le cœur de l'écosystème.

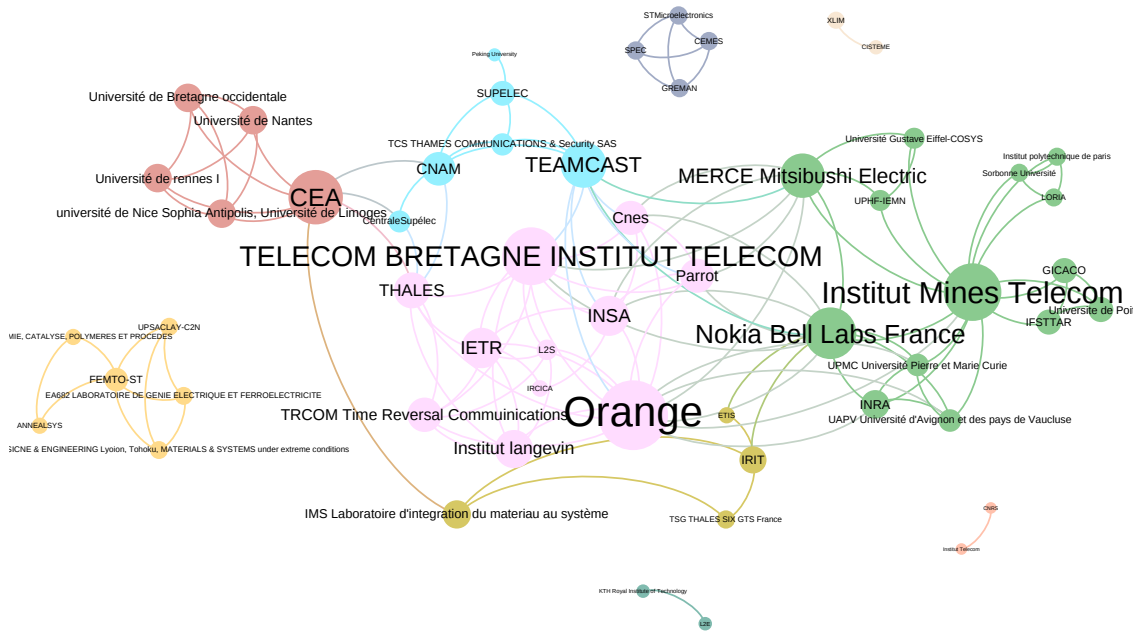


Figure 32. Réseau de collaboration dans les projets ANR identifiés. Un noeud est un acteur, un lien implique la présence dans le même projet des deux acteurs. Les couleurs des noeuds correspondent aux clusters identifiés dans le réseau par la méthode de Louvain. Sources : data.gouv.fr. Traitement : Auteurs

5.2 Thématiques traitées et positionnement des acteurs

Les thématiques traitées dans les projets ANR diffèrent de ce que nous trouvons dans les projets européens. Ces derniers ont en effet un objectif plus proche de l'industrialisation et l'analyse textuelle a permis d'identifier les enjeux de la CE. Dans la figure 34, nous identifions les thématiques basées sur le résumé du projet ANR¹². Les thématiques sont plus proches de la recherche fondamentale ici avec plusieurs thématiques faisant clairement apparaître des questions théoriques (théories des jeux, théories des groupes, gaussmanian varieties). La thématique autour de l'OFDM concerne une technologie d'encodage du signal sur des fréquences multifournisseurs. Technologie déjà présente sur la 4G, l'ANR finance ici des projets qui continuent la recherche sur cette technologie. Simultanément, nous retrouvons une thématique sur la "Non orthogonal multiple access" qui serait la technologie qui viendrait remplacer la OFDM pouvant donc correspondre au post-OFDM. Nous retrouvons ensuite des thématiques qui traitent des antennes : MIMO, le MISO (un cas particulier de MIMO), miniature antennas et Hollow metasurface. Dans l'ensemble nous retrouvons des projets qui traitent des questions fondamentales de la 5G. Ces éléments sont en cohérences avec les axes scientifiques et les AAP associés.

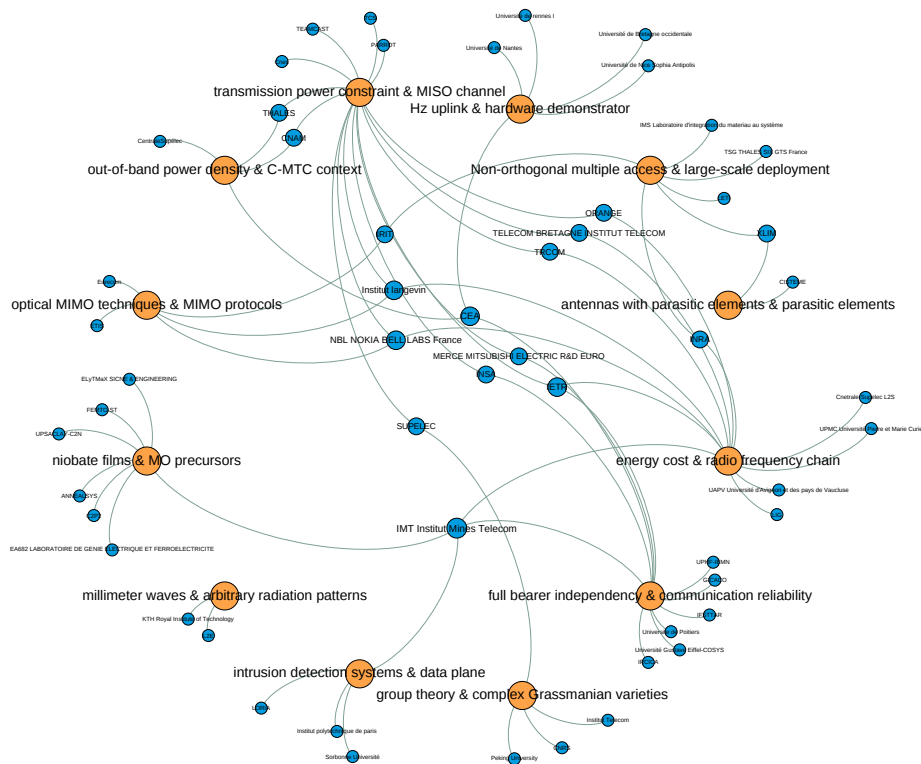


Figure 33. Positionnement des acteurs en fonction des thématiques traitées dans les projets financés par l'ANR.

Sources : data.gouv.fr. Traitement : Auteurs

Dans la figure 33 positionnons les acteurs en fonction des thématiques identifiées. Les acteurs en dehors du cercle créé par les thématiques sont positionnés sur une seule thématique. Plus un acteur se trouve au centre du graphe, plus il est diversifié dans les thématiques. L'IMT prend ici une position particulière en étant lié à quatre thématiques qui attirent des acteurs plus spécialisés. Dans l'ensemble les acteurs industriels semblent se

¹². Pour les projets contenant uniquement un résumé en français, nous avons traduit en anglais pour permettre l'analyse textuelle.

positionner sur plus de thématiques, alors que les universités et laboratoires de recherche restent positionnés sur une seule thématique¹³.

Cette dichotomie dans le positionnement montre que les acteurs industriels viennent chercher des compétences fondamentales chez les acteurs de la recherche dans les projets ANR. La centralité de ces acteurs dans les thématiques et l'écosystème était déjà visible dans les projets européens et plus largement dans l'écosystème de la recherche. Les acteurs de l'industrie sont omniprésents dans l'écosystème et viennent chercher les compétences fondamentales des acteurs de la recherche tout au long du cycle de vie de la technologie.

A retenir :

- Les projets ANR identifiés sont déposés majoritairement par plusieurs acteurs
- Deux vagues de projets sont identifiées, mobilisant différents acteurs
- Les acteurs de la recherche sont plus centraux que dans les projets européens, mais les industriels restent omniprésents
- Les thématiques de recherche sont plus fondamentales que les projets européens
- Les flux de connaissance dans les collaborations public-privé bénéficient en règle général plus aux industriels, mais les publications qui en résultent ont plus de citations en moyenne.
- Quelques acteurs industriels sont identifiés qui ne ressortaient pas dans les projets européens ou les communications scientifiques.

13. Notons que le nombre de projets de recherche est relativement faible

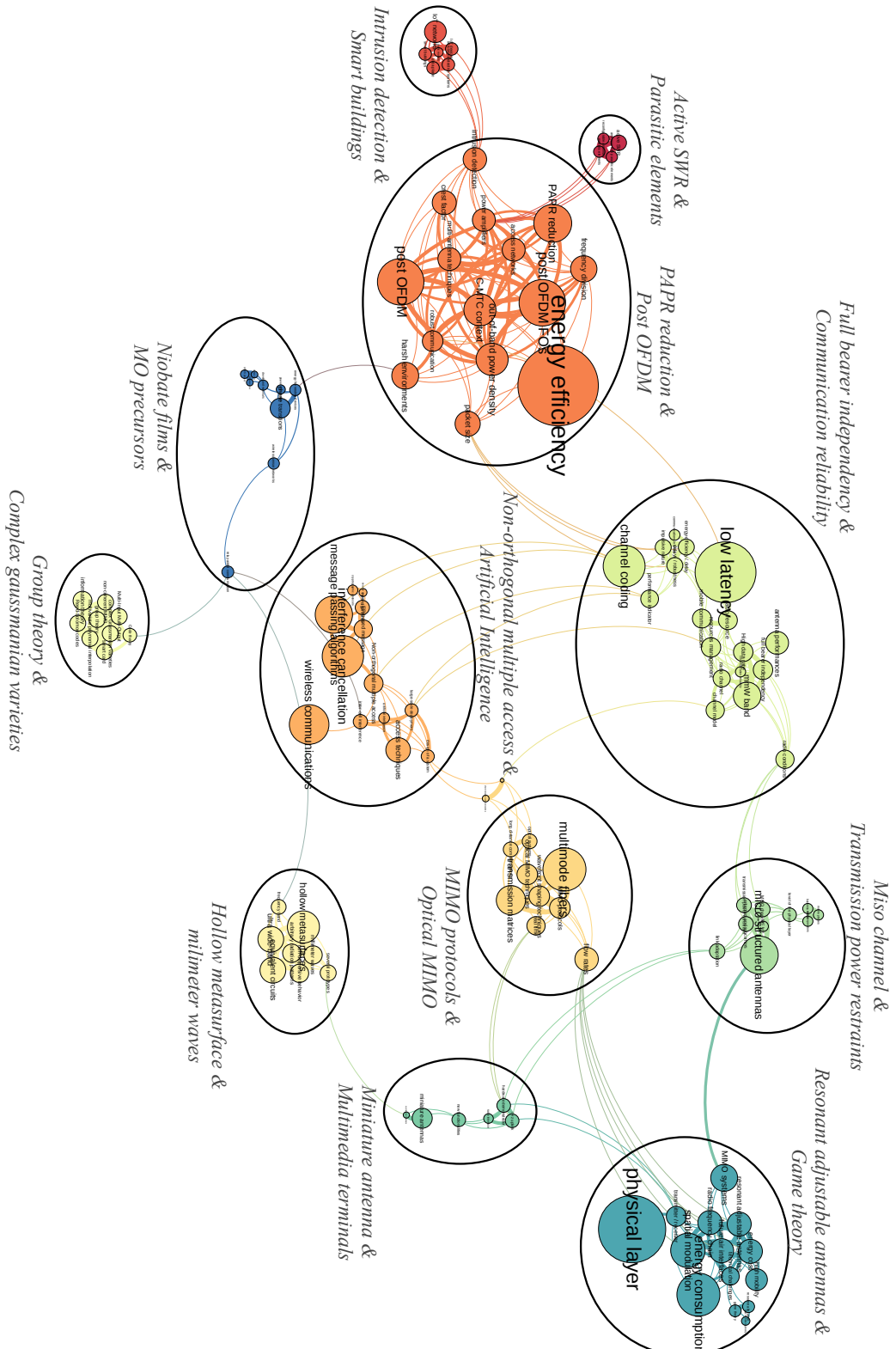


Figure 34. Thématiques identifiées par analyse textuelle dans les projets ANR identifiés.
Sources : data.gouv.fr. Traitement : Auteurs

6 L'industrialisation : Les brevets essentiels à la norme

Au-delà de l'excellence scientifique, le financement de la recherche a aussi pour objectif de soutenir l'industrie. Les avancées de la recherche fondamentale doivent pouvoir permettre aux acteurs industriels de nourrir une R&D permettant d'améliorer leur compétitivité. Un signe positif allant dans ce sens est l'omniprésence des acteurs industriels dans l'écosystème de la recherche. Montrant que les industriels viennent chercher les résultats de la recherche pour les intégrer dans les processus d'innovation.

Afin d'analyser l'output de la recherche au niveau des acteurs industriels, il est commun d'exploiter les données de brevets. Un brevet est un titre de propriété industrielle qui accorde à son détenteur "un monopole d'exploitation pour une durée maximale de 20 ans" (INPI 2017). Le brevet "protège une innovation technique (produit ou procédé" qui apporte une solution technique à un problème technique" (INPI 2017).

Au-delà de la protection que procure le brevet, il est aussi possible de vendre des licences d'exploitation. Notamment dans le domaine de la 5G, le moyen le plus efficace d'obtenir de vendre des licences est de déposer des brevets sur les briques technologiques qui entrent dans la norme 5G. En effet, l'acteur qui parvient à protéger les technologies qui sont essentielles à une norme oblige les acteurs voulant produire avec la norme à lui verser des royalties (Bekkers et al. 2011). La normalisation est donc un enjeu économique central pour les acteurs. Dans cette section nous allons donc nous focaliser sur les brevets essentiels à la norme 5G.

Comme expliqué dans la section 2.3, les groupes de travail de la 3GPP préparent des spécifications techniques (TS). Il est ensuite possible de développer une solution technique répondant à ces spécifications et de breveter cette solution. Le brevet faisant référence à ces TS sont alors appelés des Brevets Essentiels à une Norme (BEN) ou Standard Essential Patents (SEP) en anglais. La déclaration d'un brevet en tant que SEP n'est pas automatique. Les participants aux groupes de travail de la 3GPP sont incités à déclarer tout brevet existant à leur connaissance pouvant être en lien avec le TS. Les acteurs en dehors des groupes peuvent volontairement déclarer des brevets qu'ils considèrent comme étant essentiels. Il est important de noter qu'il n'y a pas de contrôle sur la pertinence de ces déclarations (Stitzing et al. 2017). Le manque de contrôle mène à une surdéclaration de brevets et la présence d'une norme important de brevets qui ne sont en fait, pas essentiels à la norme (Stitzing et al. 2017).

Déclarer un brevet comme un SEP n'est pas anodin. La déclaration engage le titulaire du brevet à respecter des conditions particulières au niveau des frais de licence. Dans le cas des SEP, le titulaire s'engage aux conditions FRAND (Fair, Reasonable And Non-Discriminatory). Ces conditions impliquent que le titulaire du brevet n'exploite pas une position dominante pour obtenir des rentes excessives pour les technologies dont il détient la protection (Alfred 2019). Ces conditions ont pour objectif de faiblir des barrières à l'entrée pour des acteurs qui souhaitent se positionner sur un marché et *in fine* un prix plus bas pour le consommateur. Ces conditions n'empêchent que le potentiel de rente que la firme peut récolter sur le marché est conséquent.

Nombreux sont les études qui focalisent sur la volumétrie des portefeuilles de brevets faisant état d'un classement des acteurs (Noble et al. 2019, Mao 2021). La volumétrie est un indicateur qui ne saurait nécessiter d'être accompagné d'une étude approfondi des portefeuilles de brevets (Teece 2021). Dans cette section nous allons analyser en profondeur les brevets SEP en dépassant la volumétrie en focalisant sur les brevets mais aussi les standards auxquels ces brevets font référence.

L'objectif de cette section est d'analyser l'écosystème d'innovation sur la norme 5G en

visant à :

- Identifier les acteurs présents, en particulier ceux présents dans l'écosystème de l'innovation français
- Analyser la stratégie de protection géographique des brevets SEP
- Analyser les stratégies de protection des acteurs sur la norme 5G
- Identifier une différence de stratégie de dépôt en fonction des régions géographique (Asie, Europe, Etats-Unis).
- Analyser la dépendance technologique des acteurs les uns aux autres

Pour traiter les points décrits ci-dessus, nous avons besoin d'identifier les brevets pertinents. Les brevets contiennent des informations à la fois sur le titulaire du brevet, la date de dépôt, la classification technologique et les citations vers l'art antérieur. Nous mobiliserons ces informations dans cette section. La méthode suivie pour identifier les brevets SEP est décrite dans le point technique qui suit.

Point Technique - méthode d'identification des brevets SEP :

Un brevet est essentiel à une norme lorsque le document de brevet fait référence à au moins une "Technological Specification" (TS).

Afin d'identifier ces brevets, nous avons exporté de la base de la 3GPP les numéros de TS relatifs à la 5G. Ces numéros sont ensuite cherchés dans une base de données de brevets au niveau mondial. Nous avons utilisé la base Orbit de Questel pour identifier ainsi nos brevets¹⁴. La requête nous a permis d'identifier 23480 familles de brevets¹⁵ au niveau mondial¹⁶.

En utilisant la méthode décrite ci-dessus, nous identifions 23480 familles de brevets déposés entre 2001 et 2020. La dynamique de dépôt de ces familles de brevets est donnée dans la figure 35. Il convient de noter qu'il existe un délai de 18 mois entre le dépôt du brevet et sa publication, de ce fait la fin de la courbe peut encore changer. Nous notons une dynamique à la hausse sur l'ensemble de la période étudiée. Un point intéressant à noter ici est que de brevets qui prédatent les discussions sur la standardisation de la 5G impliquant que les standards discutés dans les groupes de travail soient orientés pour correspondre à des brevets existantes et donc des compétences que les entreprises en place maîtrisent déjà. Cette observation montre le sentier de dépendance sur lequel les acteurs s'engagent dans le développement des nouvelles technologies. De plus, ces brevets ont été déposés bien avant le début des projets de recherche financés par les sources que nous avons pu identifier.

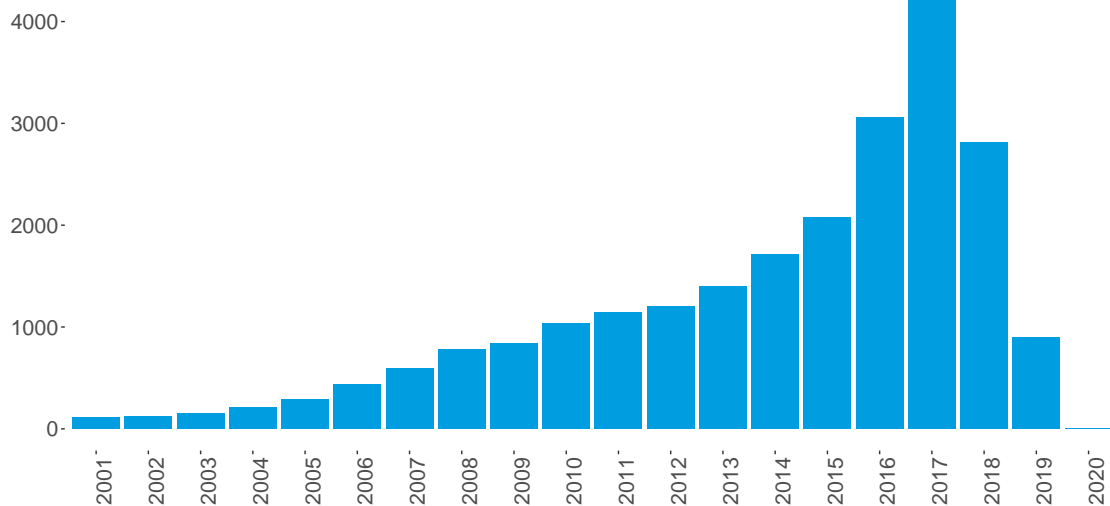


Figure 35. Dynamique des dépôts de brevets relatifs à un standard dans le domaine de la 5G.

Sources : Questel-Orbit, 3GPP. Traitement : Auteurs

6.1 Identification de l'écosystème

La dynamique des dépôts est soutenue par un ensemble d'acteurs internationaux. Dans la figure 36 nous identifions la dynamique des dépôts du top 20 dans le domaine. La dynamique est soutenue pour les grands acteurs internationaux, notamment Huawei, Qualcomm, Ericsson, Nokia. La distinction entre Alcatel-lucent et Nokia est volontaire ici, pour mettre en avant l'acteur d'origine française dont un laboratoire reste sur le sol français. Le pic volumétrique est atteint pour la majorité des acteurs entre 2014 et 2016.

Les acteurs positionnés ici sont présents dans l'écosystème de la recherche français mis à par les acteurs japonais (Sony, Sharp, Panasonic, NTT docomo, Fujitsu).

Nous notons la présence d'Interdigital parmi les acteurs. Ce dernier est une entité spécialisée dans le licensing de technologies avec à son actif des contrats avec Huawei, Apple, Samsung, Nokia, Xiaomi et technicolor.

Etant donné l'enjeu économique associé aux brevets SEP nous ne nous attendons pas à une pratique intense de la collaboration sur ces brevets. Le réseau dans la figure 37 confirme cette hypothèse. Le réseau est construit sur des communautés centrées sur les grands acteurs du domaine avec très peu de liens les connectant. Chaque acteur a son écosystème propre dans lequel il puise des connaissances et est prêt à partager sa propriété intellectuelle. Uniquement France Telecom est présente au niveau des acteurs français, dans une communauté proche de blackberry et LG (qui sont tous deux absents du réseau de recherche français).

Nokia, Huawei, Ericsson pourtant centraux dans l'écosystème de la recherche français n'ont aucun lien ici avec des acteurs français. Ce réseau met en avant une stratégie particulière en termes de collaboration. Même au niveau des brevets, les réseaux de collaborations sont plus denses et les grands acteurs partagent aussi leur PI (Pol et Rameshkoumar 2018; Van Der Pol 2015; Van Der Pol et al. 2018). Le nombre faible de liens entre les communautés montre une volonté d'éviter un partage de PI sur les brevets SEP. Les brevets déposés par un seul acteur représentent 83% du portefeuille donnant un taux de collaboration faible. Ces éléments sont en cohérence avec une stratégie de vente de licence. Une collaboration complique et réduit la part des royalties perçues par les acteurs (sauf s'il s'agit d'une filiale),

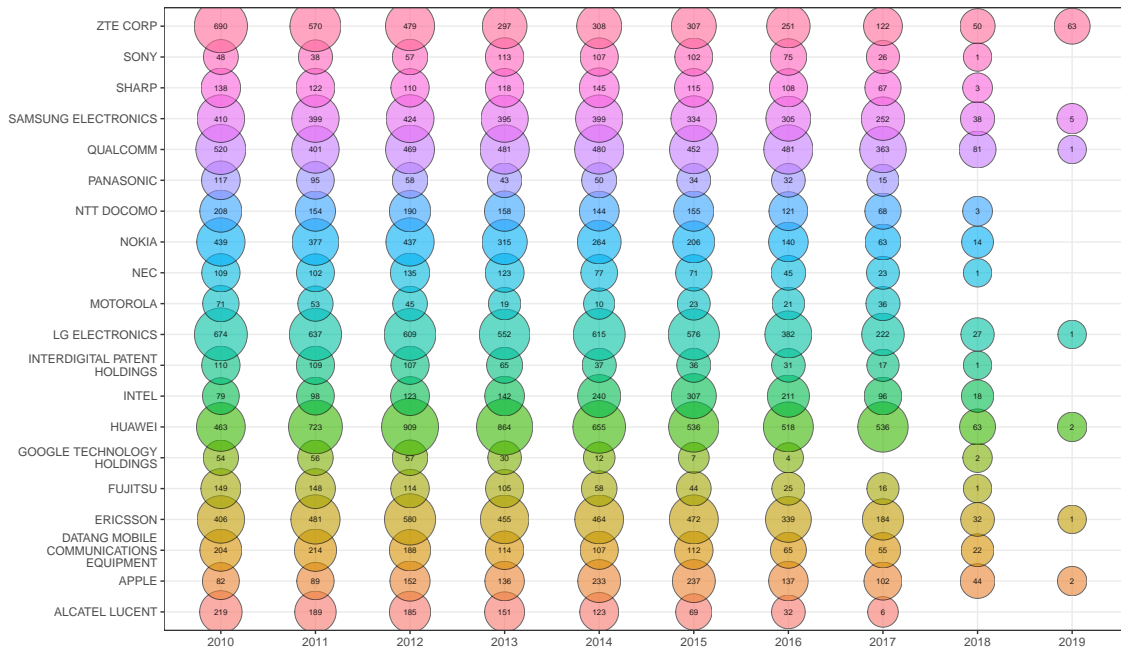


Figure 36. Nombre de familles de brevets SEP par acteur, par année dans le domaine de la 5G. L'année correspond à l'année de dépôt du brevet eu premier office. Nous ne disposons pas de la date de déclaration du brevet en tant que SEP.
 Source : 3GPP, Orbit, Traitement : Auteurs

une part importante de collaboration serait donc contre-intuitive ici.

Les acteurs que nous venons de décrire peuvent choisir les pays dans lesquels ils veulent protéger leurs inventions. En toute logique, dans une optique de recherche de rente maximale, nous pouvons nous attendre à une protection dans les zones représentant le plus gros marché. Pour vérifier cette hypothèse, nous regardons deux éléments :

- Le pays de priorité : Le pays dans lequel l'acteur a demandé la protection au moment du dépôt
- Les pays d'extension : les pays vers lesquels l'acteur a décidé d'étendre la protection en plus du pays de priorité.

Même si imparfait, le pays de priorité représente souvent le pays dans lequel l'invention a vu le jour. Dans la figure 38 nous représentons les pays de priorité et d'extension des brevets SEP dans la 5G.

La carte nous montre que les acteurs qui déposent les brevets (ceux qui les détiennent) sont en majorité des acteurs hors Europe. Cependant ces acteurs étendent la protection de leurs brevets en Europe, Inde et le Brésil notamment. Cette image montre que le marché européen est visé par les acteurs hors Europe qui viennent imposer leurs technologies et revendiquent que leurs brevets sont essentiels à la norme. Ceci implique que les acteurs présents sur le sol européen se trouvent face à un labyrinthe de propriété industrielle qu'ils doivent naviguer.

La norme qui prévaut en Europe peut être différente de celle qui peut exister en Chine ou aux Etats-Unis. Pour la 5G la norme qui s'imposera au niveau international sera celle de l'Europe, expliquant en partie la protection cherchée par les acteurs sur le sol européen. Pour faire valoir leurs brevets, les acteurs européens doivent étendre leurs brevets sur les autres territoires. Le contexte juridique autour des brevets évolue, notamment en Chine. Le

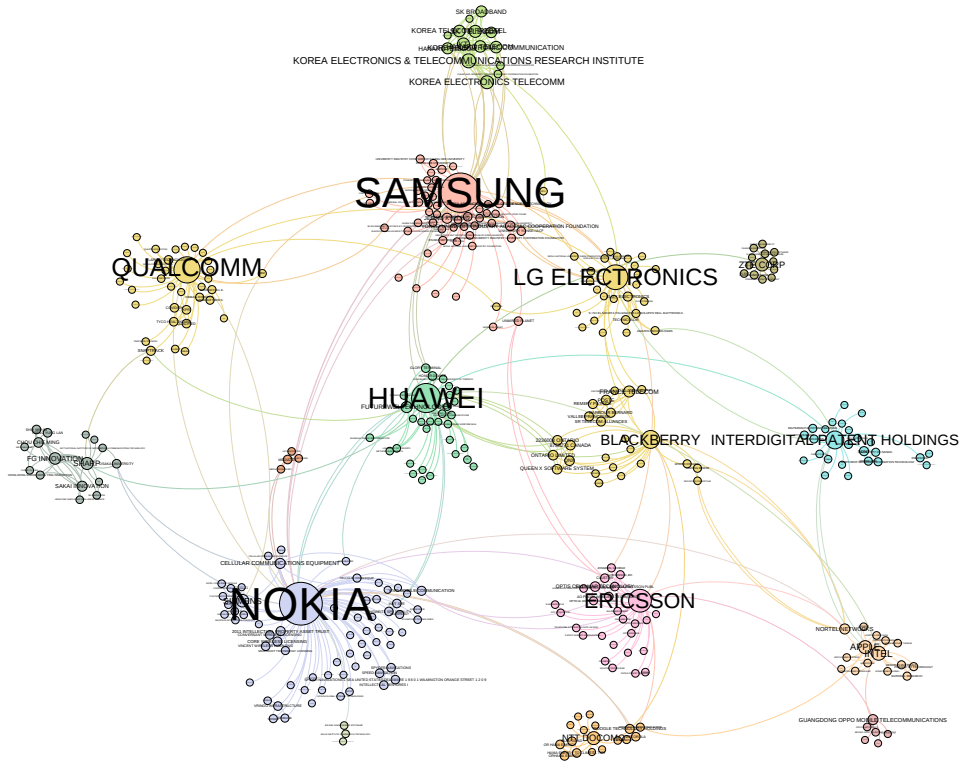
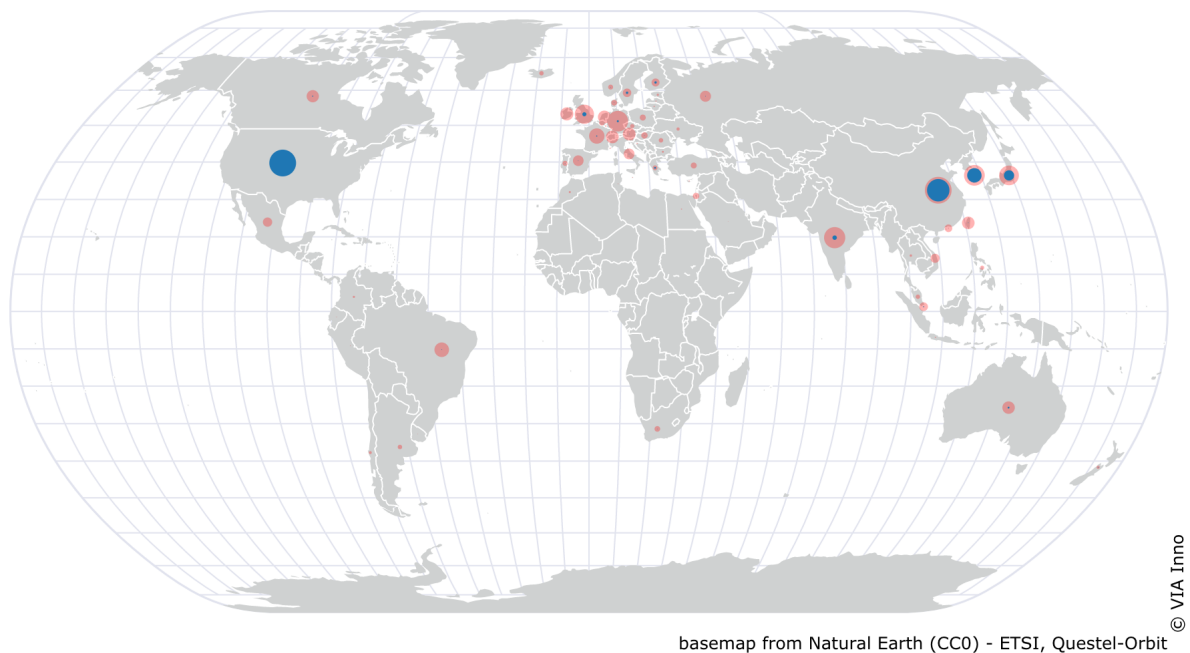


Figure 37. Réseau de collaboration dans les brevets SEP dans la 5G. Chaque nœud est un acteur, chaque lien indique que les deux acteurs sont présents dans la même famille de brevets.

Sources : Questel-Orbit. Traitement : Auteurs

système de PI a été relativement laxiste dans le passé, mais se renforce avec le temps. Avec la volonté de la Chine de devenir un pays de premier plan en termes d'innovation, elle doit maintenant protéger les inventions nationales [Communiqué de l'office national de Chine](#). De plus, pour assurer une présence d'acteurs internationaux sur le territoire, ils doivent être rassurés que leurs brevets soient protégés.

Même si les brevets accordés sont reconnus et protégés en cas de litige (Kaiyuan 2019), c'est au moment de l'accord du brevet qu'un risque se pose. Rassenfosse et Raiteri 2020 montrent que pour des technologies que la Chine considère comme clés, la probabilité pour qu'un brevet étranger soit accepté est plus faible. De plus, dans le cas de litiges, la vision américaine et chinoise diffère de la vision japonaise. En effet, les Etats-Unis et la Chine ont tendance à valoriser la valeur économique privé du brevet alors que le Japon favorise la valeur technologique (Hu et al. 2020). Le renforcement du système de brevets pose donc un risque pour les acteurs français et européens dans leur dépôt de brevets SEP. La balance risque de pencher encore plus si le standard développé pour la 6G finit par être celle mise en point en Chine.



Made with Khartis

Figure 38. Cartographie des pays de production et extension des brevets SEP. En bleu le nombre de brevets par pays de priorité, en rouge le nombre de brevets par pays d'extension.

Source : ETSI, Orbit, Traitement : Auteurs

6.2 La proximité technologique entre les acteurs

La vision purement volumétrique des brevets est souvent biaisée par des acteurs déposant des brevets en volume sans que ces brevets aient un vrai impact sur l'évolution d'une technologie, ou dans le cas présent, d'un standard. Afin d'approcher la valeur technologique des brevets, nous regardons les citations reçues.

Point technique : les citations dans les brevets : Une citation dans un brevet est une référence vers une source d'information préexistante au brevet. Ces sources peuvent être d'autres brevets, publications scientifiques, livres, vidéo, discours...

Une citation peut être mise sur un brevet soit par l'inventeur au moment de la rédaction du document, soit par l'examineur au moment de l'examen du brevet. Lorsque l'examineur cite une source d'information, il spécifie une catégorie pour la citation pour notifier l'importance. Par exemple, une citation de catégorie "T" implique que la source citée contient un concept théorique. Ce type de citation ne remet pas en cause le brevet contrairement à d'autres catégories, comme X ou Y. Ces derniers notifient que ce qui est revendiqué par le brevet a déjà été protégé par le brevet cité. Ces citations montrent donc un lien particulièrement fort entre le brevet citant et le brevet cité. Pour cette raison, dans les analyses stratégiques, ce sont surtout les citations X et Y qui sont regardés. Le nombre de citations X et Y reçus par un acteur montre alors le nombre de brevets sur

lequel il a pu bloquer une partie de l'invention d'un autre acteur. Dans cette logique, c'est un indicateur d'importance de l'acteur.

Les citations mises par l'inventeur ne sont pas catégorisées et présentent des biais importants. En effet, dans certains offices, les inventeurs sont dans l'obligation de déclarer toute source d'information pertinente (USPTO), alors que ce n'est pas le cas pour d'autres. Il est aussi possible pour un déposant de se citer lui-même, nous parlons alors d'autocitation. Etant donné que ces citations ne n'apportent d'information sur l'importance des brevets, elles sont omises des calculs.

Afin de mieux apprécier le portefeuille de brevets des acteurs, nous regardons le nombre de citations reçues des acteurs. Nous retenons ici uniquement les citations ajoutées par les examinateurs (catégorie X ou Y, hors autocitations). Dans la figure 39 nous représentons le nombre de citations en bleu et le nombre de brevets en marron.

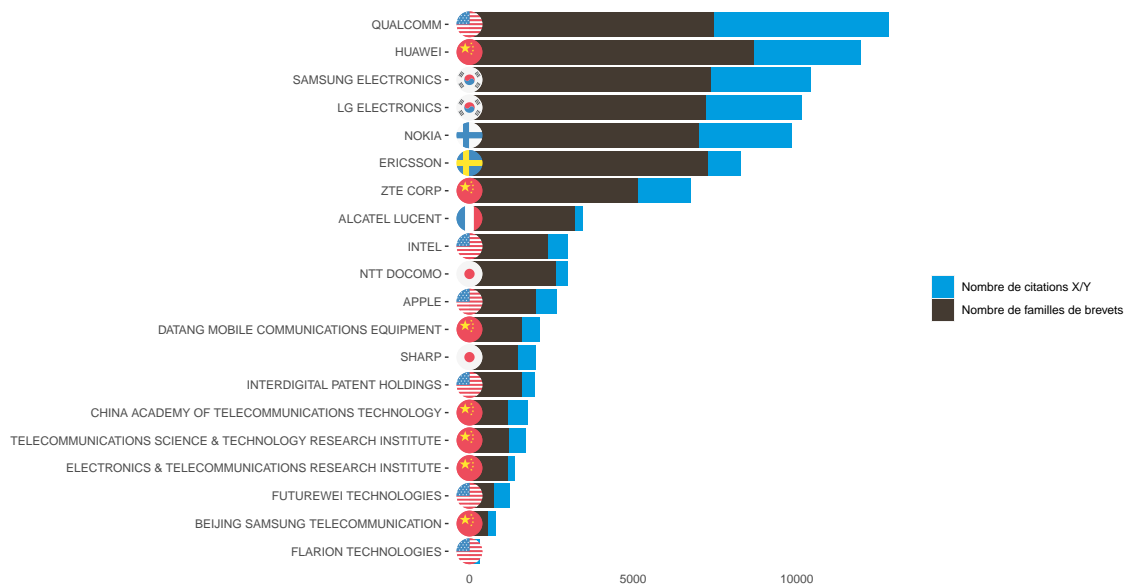


Figure 39. Nombre de brevets cités et nombre de citations reçues par acteur. En marron le nombre de familles de brevets ayant reçu au moins une citation X ou Y. En bleu le nombre de ce citations X et Y reçu par l'acteur (autocitations omises) Source : Orbit, Traitement : Auteurs

En prenant en compte uniquement les brevets ayant reçu des citations, le classement change. Huawei a toujours le plus de brevets cités mais en moyenne les brevets sont moins cités que Qualcomm. Ce dernier prend la tête dans le classement en termes de citations. Notons la présence de futurewei qui est la filiale américaine de Huawei qui se hisse aussi dans ce top 20. avec des brevets relativement cités.

Au niveau Européen nous retrouvons Nokia et Ericsson avec un nombre de brevets cités similaire, mais plus de citations pour Nokia. Alcatel-Lucent avait une position dans le top 10, mais a finalement été absorbé par Nokia. En combinant les portefeuilles des deux acteurs, Nokia se positionnerait en seconde position en nombre de brevets mais pas et en nombre de citations.

Le nombre de citations montre une proximité entre les acteurs du domaine et une capacité à bloquer les inventions des concurrents. Cette dépendance est importante pour estimer le risque de litige auquel s'exposent les acteurs d'un domaine donné.

Calcul de la dépendance technologique : La dépendance technologique (DT) est calculée sur la base des citations de catégorie X et Y en excluant les autocitations. Le calcul est un simple rapport entre le nombre de citations de la firme A vers la firme B et le nombre de citations de la firme B vers la firme A. La valeur de ce score évolue donc entre 0 et $+\infty$.

- Si $DT = 1$, nous savons que les deux acteurs se citent dans la même proportion, le rapport de force est donc équilibré.
- $DT < 1$, A cite B plus souvent que B ne cite A et donc il y a une dépendance de l'acteur A envers l'acteur B.
- Si $DT > 1$ la firme B est dépendante de la firme A d'un point de vue technologique. $DT = 2$ implique que la firme B cite 2 fois plus la firme A que l'inverse.

Dans la figure 40 nous reportons ce score pour certains des acteurs du domaine. Le score "-1" identifie une dépendance infinie (division par 0). Le tableau nous montre que Qualcomm, en tête de classement, cite 171 fois plus Panasonic, que Panasonic ne cite Qualcomm. La dépendance envers Panasonic est donc forte. En plus de Qualcomm, nous retrouvons aussi Nokia et Huawei et Ericsson avec une dépendance forte envers Panasonic. Ce dernier est cependant absent du top 20 des déposants dans les brevets SEP.

Pour Nokia et Ericsson, les deux citent moins Huawei que Huawei ne les cite, montrant plutôt une proximité de Huawei envers les technologies européennes. Cette proximité est à considérer avec la présence de l'acteur dans l'écosystème de la recherche français et européen. Même si ces résultats ne permettent pas de juger de l'endogénéité, il y a un lien fort entre l'acteur et le territoire. Pour l'instant il semble que l'acteur reste proche des technologies développées en Europe.

Les acteurs français, Orange (France Telecom) et Evolium ont un nombre de brevets trop faibles pour parler de proximité. Notons cependant que les acteurs les plus cités sont présents dans l'écosystème de la recherche français avec de multiples collaborations et présences dans des GIE.

Au delà des citations, nous pouvons analyser le positionnement concurrentiel des firmes en étudiant les Technical Specifications (TS) sur lesquels ils déposent des brevets. Nous posons alors l'hypothèse que deux acteurs qui déposent des brevets sur les mêmes TS se positionnent sur la même brique technologique.

Pour obtenir une vision du positionnement sur le marché, nous regardons la proximité avec approche basée sur les TS. Le TS fait référence à une brique spécifique de la technologie et représente donc un indicateur pertinent pour appréhender le positionnement technologique d'un acteur. Si nous comparons deux acteurs, nous pouvons stipuler qu'il existe une corrélation positive entre le nombre de TS en commun et l'intensité concurrentielle. Dans la matrice 41 nous présentons le nombre de standards en commun entre les acteurs du domaine.

Qualcomm et Nokia ont le plus de TS en commun (226), l'intensité concurrentielle entre les deux acteurs est donc forte. En seconde position pour Nokia il y a Huawei et Samsung avec le même nombre de TS. Ericsson est plus proche de Samsung avec 119 TS en commun, mais l'écart avec Qualcomm est faible.

France Telecom se positionne sur plusieurs TS, à noter ici qu'une famille de brevets peut citer plusieurs TS expliquant la différence entre le nombre de TS et le nombre de brevets.

Dans l'ensemble, c'est Qualcomm qui se pose à proximité des acteurs européens suivis de près de Samsung. Ces deux acteurs ne sont pas visibles dans l'écosystème de la recherche français ou européen, bénéficiant de leur propre réseau.

Panasonic, qui est fortement cité par les brevets SEP n'a que peu de TS en commun avec les autres acteurs du domaine. Ceci nous indique que les brevets cités ne sont pas des SEP ou



Figure 40. Nombre de familles de brevets SEP par acteur dans le domaine de la 5G et le nombre de citations reçues par ces mêmes acteurs sur ces mêmes familles de brevets.

Le nombre de citations correspond au citations données par les examinateurs, les auto-citations ont ne sont pas prises en compte. Source : Orbit, Traitement : Auteurs

possiblement des brevets liés à la 4G.

Pour clarifier plus cette intensité concurrentielle, il convient de normaliser ces valeurs par rapport au portefeuille de TS des acteurs. Nokia a 226 TS en commun avec Qualcomm, mais si Nokia dépose sur 2000 TS en tout, l'interprétation est à relativiser.

Afin de calculer une mesure de proximité se basant sur les TS nous calculons pour chaque acteur un vecteur avec les standards sur lesquels il dépose des brevets :

$$V_i = \{\mathbb{1}_{TS01}>=1, \mathbb{1}_{TS02}>=1, \dots, \mathbb{1}_{TS32}>=1\} \quad (1)$$

Dans ce vecteur $\mathbb{1}_{TS01}>=1$ prendra la valeur 1 si l'acteur a déposé au moins un brevet avec ce TS, 0 sinon. Les TS sont rangés dans l'ordre nous permettant de comparer les vecteurs.

La multiplication de deux vecteurs nous permet alors d'avoir le nombre de TS en commun entre deux acteurs. La multiplication du vecteur par son transposé nous donne le nombre de TS d'un acteur. En mobilisant ces deux valeurs, nous pouvons identifier le pourcentage de TS qu'un acteur a en commun avec un autre. Il en résulte que cet indicateur est asymétrique contrairement à ce que nous trouvons classiquement dans la littérature sur la proximité (voir notamment Jaffe 1986, Breschi et al. 2003).

En d'autres termes l'acteur A peut-être proche de l'acteur B sans que l'inverse soit vraie. Supposons un petit acteur déposant des brevets sur un nombre restreint de standards, si nous comparons cet acteur à un grand acteur tel que Nokia, nous pourrions conclure que le petit acteur est en concurrence forte avec Nokia étant donné qu'ils se positionnent sur les mêmes standards. L'inverse n'est cependant pas vrai, le petit acteur ne représentant qu'une partie plus petite de l'activité globale de l'acteur Nokia.

Formellement l'indicateur que nous proposons ici se construit de la manière suivante :

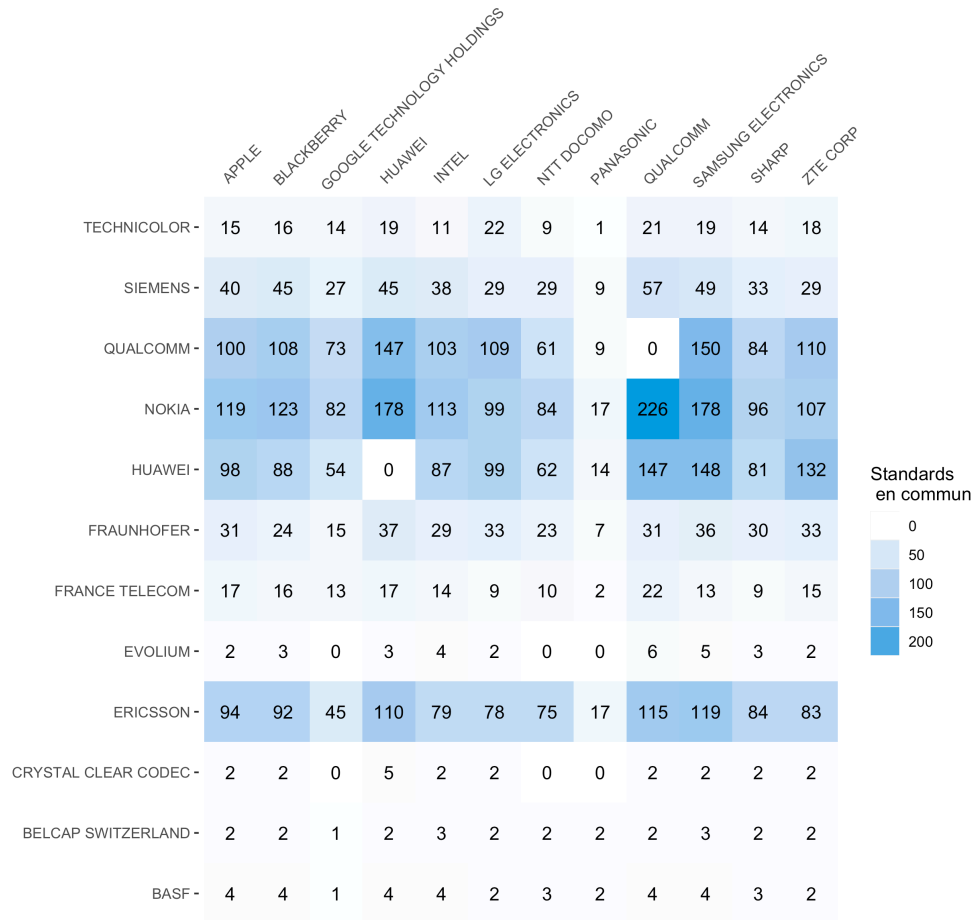


Figure 41. Nombre de TS en commun entre acteurs. Sources : Questel-Orbit, 3GPP. Traitement : Auteurs

$$P_{i,j} = \frac{V_i \cdot V_j'}{V_i \cdot V_i'} \tag{2}$$

Avec V_i le vecteur des standards de l'acteur i et V_i' son transposé. La proximité prend des valeurs entre 0 et 1, plus la valeur est forte, plus la proximité est forte.

Dans la figure 42 est représentée une extraction de la matrice de proximité. La matrice se lit de gauche à droite, et donne sur chaque ligne le pourcentage du portefeuille de standards en commun avec l'autre acteur (acteur en haut). Ainsi, Nokia a 30% (0.3) de son portefeuille en commun avec Ericsson. Cependant, la ligne Ericsson nous montre qu'Ericsson a 80% (0.8) de son portefeuille en commun avec Nokia. Parmi les plus grands acteurs, Nokia a les proximités les plus faibles. Nokia est le plus proche de Huawei, Samsung et Qualcomm comme attendu, cependant les trois acteurs ont une proximité plus forte envers Nokia que l'inverse. Ceci provient d'un positionnement plus large du portefeuille de Nokia. En effet ce dernier se positionne sur plus de standards que les autres acteurs. Un acteur important ressortant ici est Panasonic, qui ressortait déjà par sa présence dans les citations. L'acteur est proche de tous les gros acteurs alors que l'inverse n'est pas vrai.

Au-delà du cas particulier que représente Panasonic, des acteurs tels que Huawei dépendent des brevets de Nokia (score = 0.4) tout comme Intel (score = 0.6). Pour Ericsson nous voyons une dépendance plutôt du côté d'Apple, de Huawei et de ZTE Corp qui est un acteur dans le top du classement en termes de dépôts aussi.

La volumétrie cache donc un jeu d'influence et de dépendance technologique entre

les gros acteurs du domaine qui met Panasonic au centre alors que l'acteur ne ressort pas en volumétrie. Il serait alors intéressant de regarder plus en détail le positionnement technologique entre les acteurs pour rendre compte aussi de l'intensité concurrentielle entre les acteurs du domaine.

Si nous regardons des acteurs plus petits de type Evolium nous observons un positionnement proche de Nokia, avec 100% des standards d'Evolium dans le portefeuille de Nokia, et 80% dans le portefeuille de Qualcomm. Cette matrice nous permet plus facilement de positionner les petits acteurs vis-à-vis les gros et d'identifier des potentiels de risques et opportunités pour les technologies qu'elles développent.

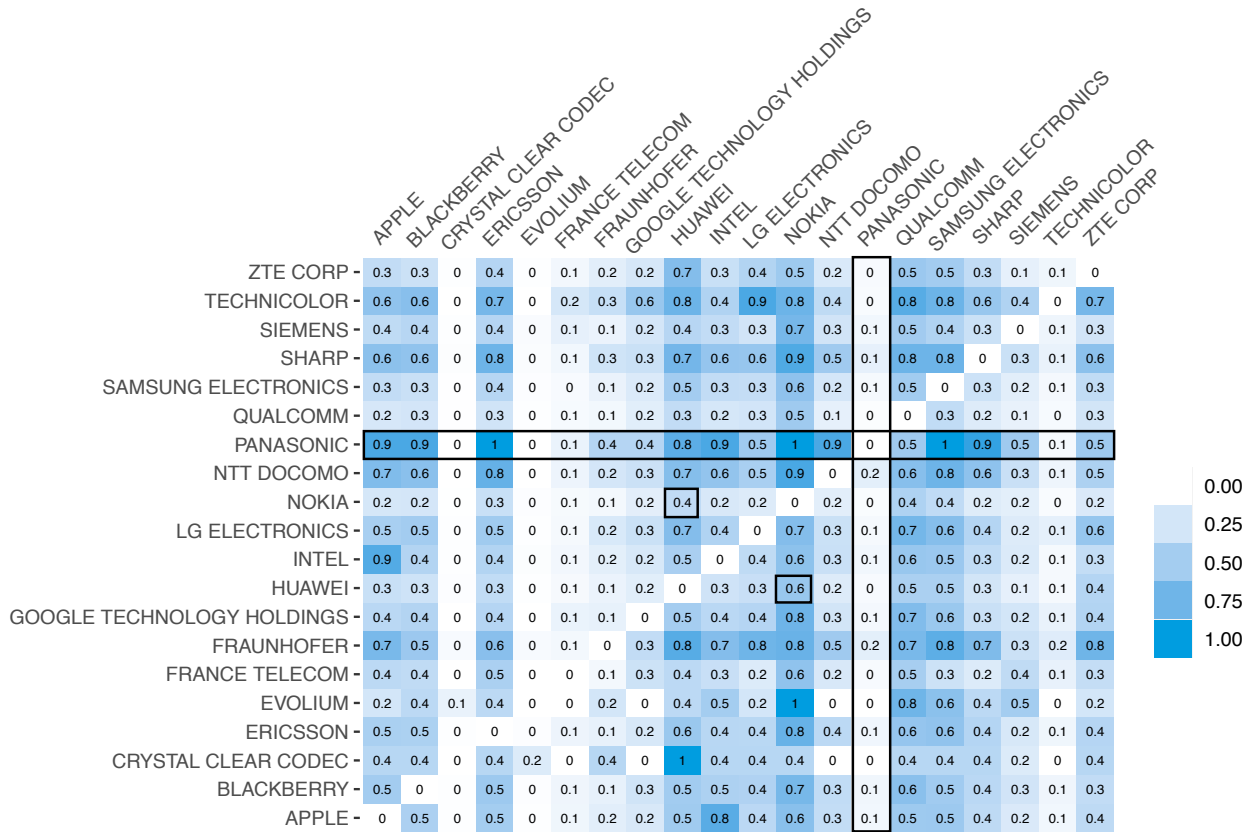


Figure 42. Nombre de brevets faisant référence à une TS par acteur. Sont représentés le top des acteurs et deux acteurs français. Les TS sont ceux ayant reçu. Sources : Questel-Orbit, 3GPP. Traitement : Auteurs

Une telle proximité entre acteurs peut être illustrée par un graphe de complémentarité (Van Der Pol 2016). Dans ce type de graphe, nous visualisons les éléments en commun et différenciants entre deux acteurs. Prenons l'exemple de Nokia et de Huawei, deux gros acteurs avec une proximité asymétrique. Dans la figure 43 nous visualisons le positionnement de Nokia et Huawei par un graphe de complémentarité.

Chaque acteur est relié aux standards sur lesquels il dépose des brevets. Les nœuds à gauche sont alors de standards sur lesquels Nokia est positionné, mais Huawei ne l'est pas. Au centre nous trouvons un positionnement commun entre les deux acteurs. Ce graphe nous apprend que Nokia dépose sur 505 standards alors que Huawei dépose sur 317 standards. Nokia est donc plus diversifié dans ses dépôts que Huawei. L'épaisseur du lien correspond au nombre de brevets déposés par l'acteur sur un standard donné. Ceci met en avant que Huawei est focalisé sur certains standards en particulier au niveau européen du moins. Nokia est plus homogène dans ses dépôts de brevet, montrant de nouveau une différence

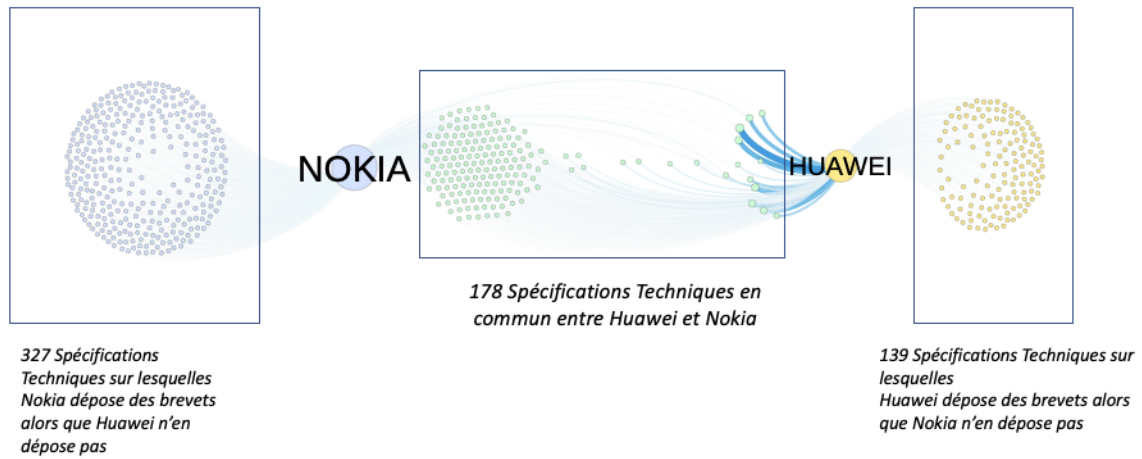


Figure 43. Comparaison du positionnement entre Huawei et Nokia sur les Standards en 5G. Nokia est positionné sur 327 standards sur lesquels Huawei n'est pas positionné. Huawei a un positionnement particulier sur 139 standards. Les deux acteurs ont en commun 178 standards. L'épaisseur du lien correspond au nombre de familles de brevets déposées sur le standard.

Source : 3GPP, Orbit, Traitement : Auteurs

stratégique majeure entre les acteurs en termes de PI.

A retenir :

- Les brevets SEP dans la 5G ont des dates de priorité qui peuvent anti-dater la standardisation
- Le réseau de collaboration prend une forme particulière, montrant la volonté de ne pas partager la PI sur ces brevets stratégiques
- Les brevets SEP sont déposés surtout par des acteurs hors Europe, mais sont étendues en Europe.
- Les acteurs français sont absents des SEP
- Les grands acteurs des SEP sont présents dans l'écosystème de recherche français.
- Les acteurs européens sont fortement cités par les leaders du domaine.
- Les acteurs européens ont le plus de TS en commun avec Qualcomm et Samsung.

6.3 Etude des stratégies de déclarations des TS

Les résultats précédents montrent des divergences dans le nombre de brevets, mais aussi le nombre de TS entre les acteurs. Dans cette sous-section nous allons analyser en détail les stratégies de déclaration des TS.

La figure 44 montre le nombre de TS différents déclarés par les acteurs du domaine. Nous trouvons ici Nokia en tête de classement avec plus de 500 TS déclarés dans ses brevets, montrant une diversification dans les activités de Nokia. Huawei qui détient pourtant le plus de brevets se positionne en troisième position derrière Qualcomm. Interdigital se positionne dans le top 5, devant des acteurs ayant plus de brevets. Le nombre de TS déclarés par brevet doit donc varier significativement entre les acteurs. Des acteurs qui se trouvent en bas de classement en termes de volumétrie de brevets (Snaptrack avec 30 brevets) se trouvent dans le top 20 en termes de TS déclarés.

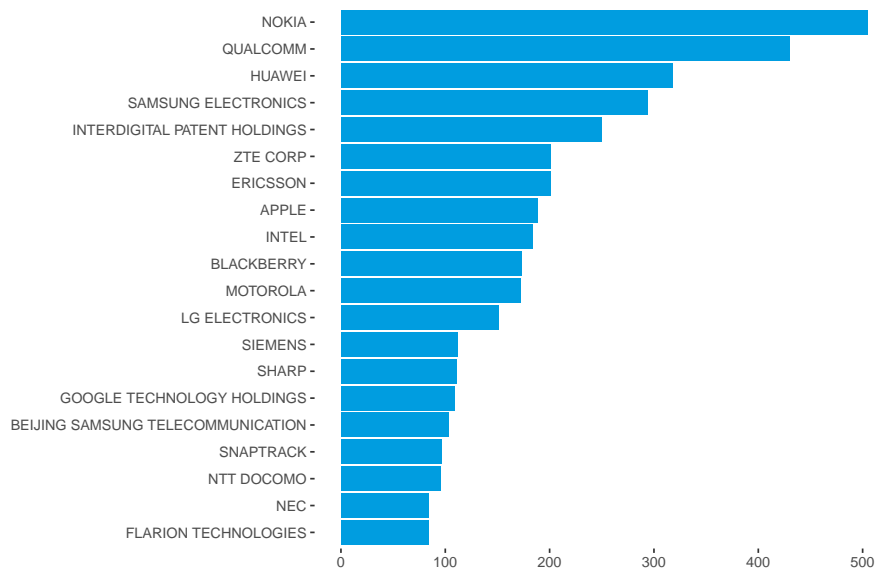


Figure 44. Top 20 des acteurs par nombre de TS différents déclarés dans le portefeuille de brevets. Une famille de brevets peut être liée à plusieurs TS Source : ETSI, Orbit, Traitement : Auteurs

En regardant le nombre de brevets déclarés par TS pour le top 10 des acteurs en termes de volumétrie, nous voyons déjà des différences notables entre les acteurs (figure 45). Huawei est fortement positionné sur certains TS alors que Qualcomm ne se positionne que modestement. Huawei est positionné fortement sur le TS-38-101, où les autres acteurs ne semblent pas vouloir se positionner.

Nokia se positionne partout, mais aussi avec moins de brevets, au même titre qu'Ericsson. Panasonic est moins présent et Siemens se positionne avec quelques brevets sur les mêmes TS que les leaders du domaine.

La volumétrie de déclaration de Huawei ici dépasse déjà largement le nombre de familles déposées, montrant une déclaration de TS par famille de plus que 1. ZTE corp se positionne sur certains TS avec un nombre important de brevets et très peu de brevets sur d'autres.

Dans l'ensemble du domaine, le nombre de TS déclarés dans une famille de brevets varie entre 1 et 56, comme le montre la distribution dans la figure 46. 56 étant une exception, la variation se situe plutôt entre 1 et 18, ce qui reste significatif.

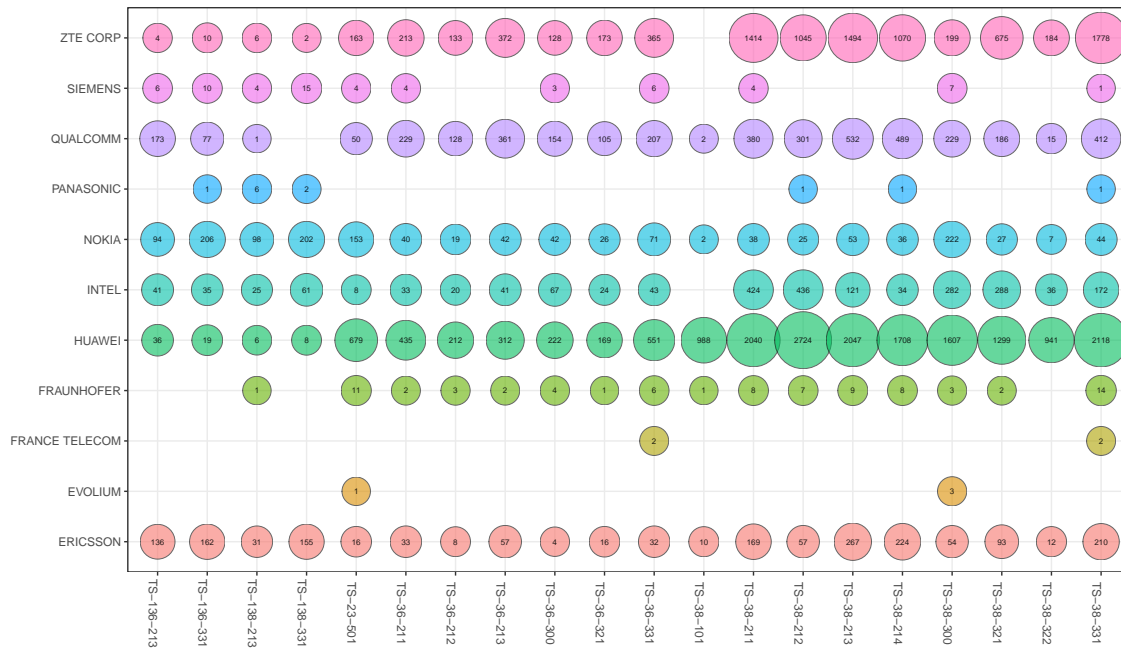


Figure 45. Nombre de brevets faisant référence à une TS par acteur. Sont représentés le top des acteurs et deux acteurs français. Les TS sont ceux ayant reçu. Sources : Questel-Orbit, 3GPP. Traitement : Auteurs

La distribution des TS n'est pas monotone avec des pics à 1, 5 et 9 et 14 TS. Un nombre important de brevets ne déclare qu'un seul standard (5103 brevets ou 20% du portefeuille), mais la large majorité (80%) déclare au moins deux standards.

A priori, nous pourrions nous attendre à une distribution monotone avec un nombre de brevets de plus en plus faible citant de plus en plus de standards. Ceci ne semble pas être le cas notamment pour certaines valeurs, et le nombre de standards cités semble important pour une bonne partie de brevets. A priori il n'y a pas de raison administrative associée à ces valeurs (comme cela peut être le cas pour le nombre de revendications avec une hausse du coût du brevet). La déclaration en soi de plusieurs TS n'est pas incohérente. Un document de brevet peut appartenir à plusieurs classifications technologiques (CIB, CPC), c'est même plutôt commun.

Comme le montre la figure 47, le nombre moyen de TS déclarés est de 4.2 pour les brevets de la 5G. Plusieurs acteurs identifiés dans l'écosystème de la recherche sont présents ici, notamment Fraunhofer, China academy of telecommunications, Korea electronics & telecommunications research institute. Aucun acteur de la recherche française est cependant présent.

L'acteur Snaptrack, filiale de Qualcomm, en tête de classement, a un portefeuille de 30 brevets SEP dans le domaine avec en moyenne 22 standards cités. Avant le rachat par Qualcomm, Snaptrack était une startup de la silicon valley qui a pu avoir comme stratégie de communication de balayer large pour augmenter sa valorisation financière et se donner le maximum de chance pour un rachat.

Au-dessus de la moyenne, nous retrouvons Interdigital qui cherche à licencier, la stratégie peut donc être cohérente. Nous retrouvons aussi Huawei, ZTE Corp, Blackberry et Google. Les leaders européens sont en retrait, dans le bas de classement.

En regardant de plus près les acteurs, il devient apparent que les acteurs européens ont un comportement de déclaration différent du reste du monde. Nokia et Ericsson, déclarent moins de TS que les acteurs avec une volumétrie semblable (Huawei et Qualcomm notamment). Les acteurs allemands se situent dans la moyenne. Le comportement ne

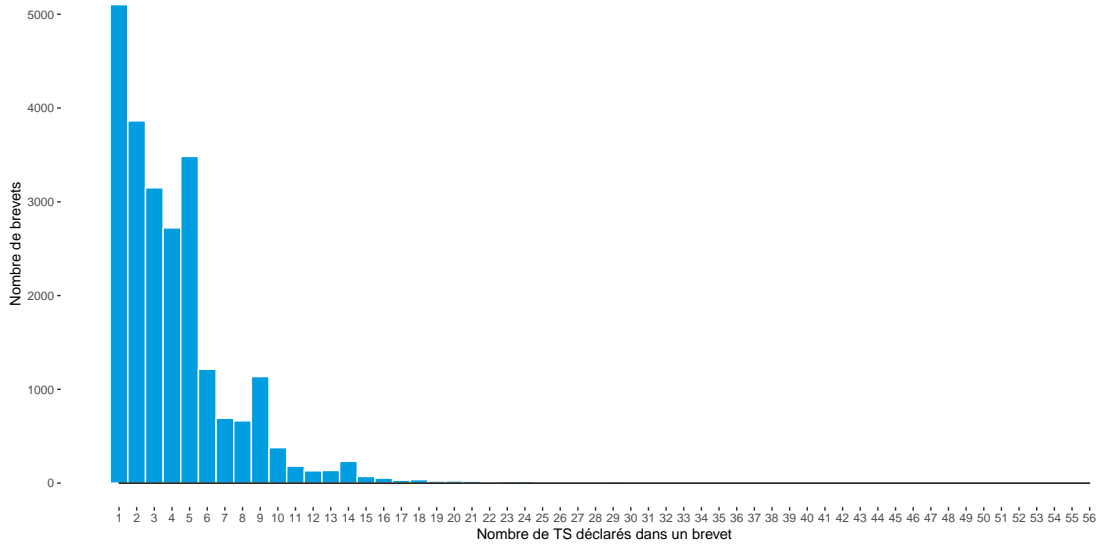


Figure 46. Distribution du nombre de standards déclarés dans une famille de brevets dans la 5G. Source : ETSI, Orbit, Traitement : Auteurs

semble pas être une spécificité asiatique ou américaine, nous retrouvons des acteurs des deux territoires en haut du classement. Ce dernier est occupé par des acteurs ayant un portefeuille de brevets plus modeste expliquant le nombre moyen de brevets plus important.

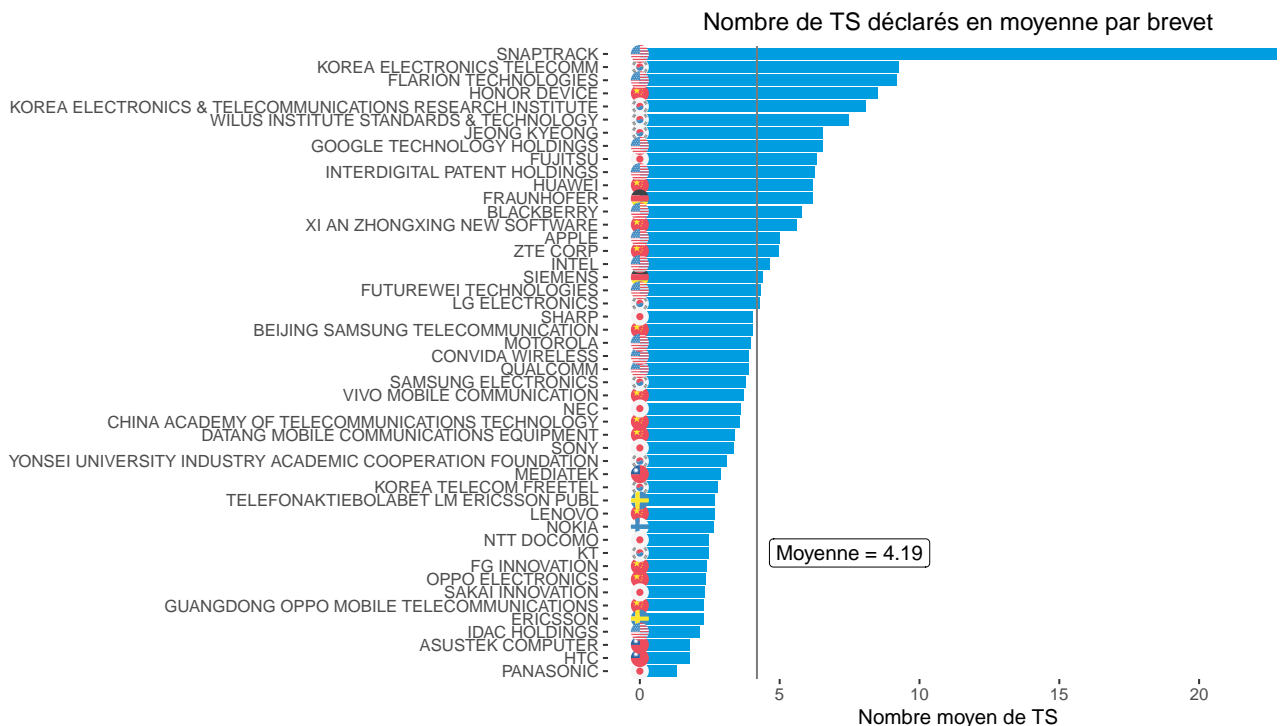


Figure 47. Par acteur, le nombre de standard déclarés en moyenne par brevet. La droite grise indique la moyenne sur les brevets SEP dans la 5G. Nous avons calculé ces valeurs uniquement pour les acteurs avec au moins 20 familles de brevets pour éviter un poids trop important des petits portefeuilles. Source : ETSI, Orbit, Traitement : Auteurs

Au-delà de la problématique de la surdéclaration de brevets, il semble qu'il y ait des

comportements stratégiques liés au nombre de TS déclarés dans une même famille de brevets. Plus précisément, il semble que les acteurs européens ont un comportement différent des acteurs asiatiques et américains. Dans ce qui suit, nous allons valider statistiquement cette hypothèse.

Dans un premier temps, regardons la distribution des TS par brevet au niveau des leaders du domaine (figure 48). Pour Huawei le nombre de standards déclarés varie entre 1 et 17, avec deux modes à 1 et 9. La distribution est relativement uniforme entre ces valeurs. Ce comportement est opposé au comportement de Ericsson et Nokia qui ont la large majorité de leurs brevets avec un seul standard suivie d'une distribution décroissante. ZTE CORP présente une stratégie qui s'organise autour d'un mode unique à 5 standards par brevet.

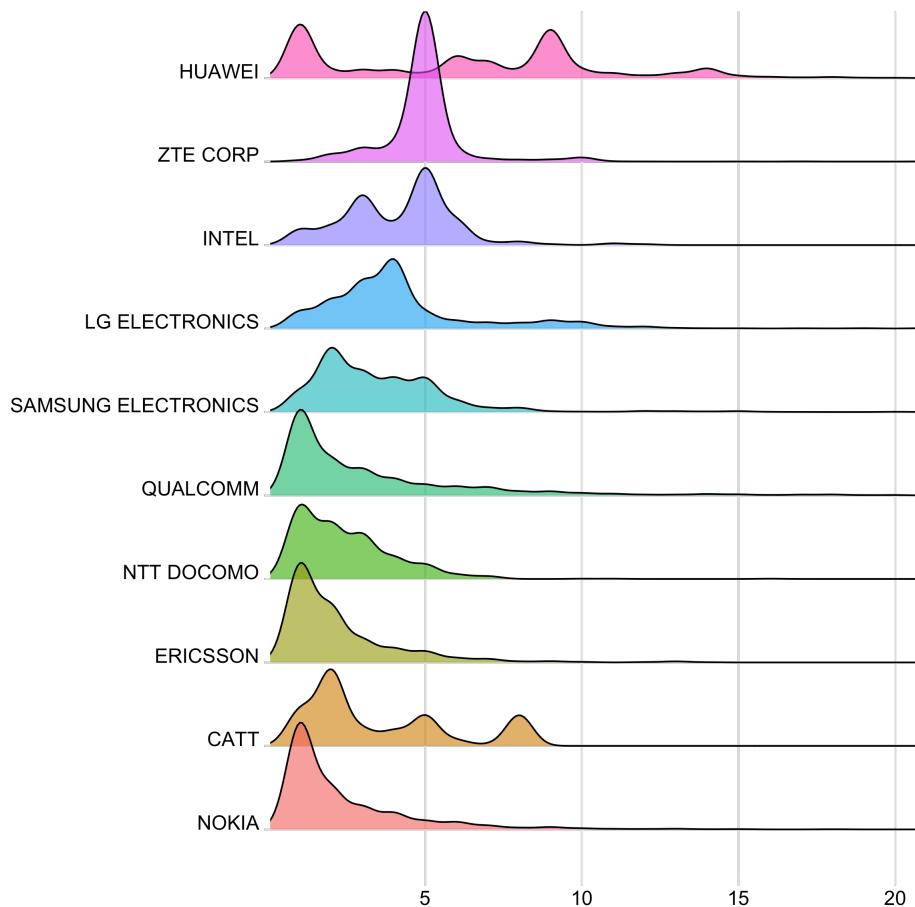


Figure 48. Nombre de standards en commun entre deux acteurs dans les brevets SEP du domaine de la 5G.

Source : ETSI, Orbit, Traitement : Auteurs

Dans l'ensemble, les acteurs ont des comportements différenciés en termes de déclaration de standards, Nokia, Ericsson et Qualcomm ont des comportements semblables même si la queue de la distribution de Qualcomm est plus longue. La stratégie de Huawei, ZTE Corp, Intel, CATT et LG reste particulière par rapport à une distribution théorique, unimodale, décroissante (distributions de Nokia, Qualcomm et Ericsson).

Il est cependant possible que les différences en termes de distribution proviennent de caractéristiques différentes au niveau des brevets. La comparaison Huawei/Nokia semble contredire cette hypothèse. Dans la figure 49 le nombre de classifications, groupe de classifi-

ation, revendication et TS sont comparés pour les deux acteurs. Les résultats montrent des distributions semblables sauf pour les TS. Il semble donc que le nombre de TS déclarés par brevet ne soit pas lié à des brevets plus larges (brevets ayant plus de revendications ou plus de CIB). L'hypothèse d'une stratégie intentionnelle de la part des acteurs semble se confirmer.

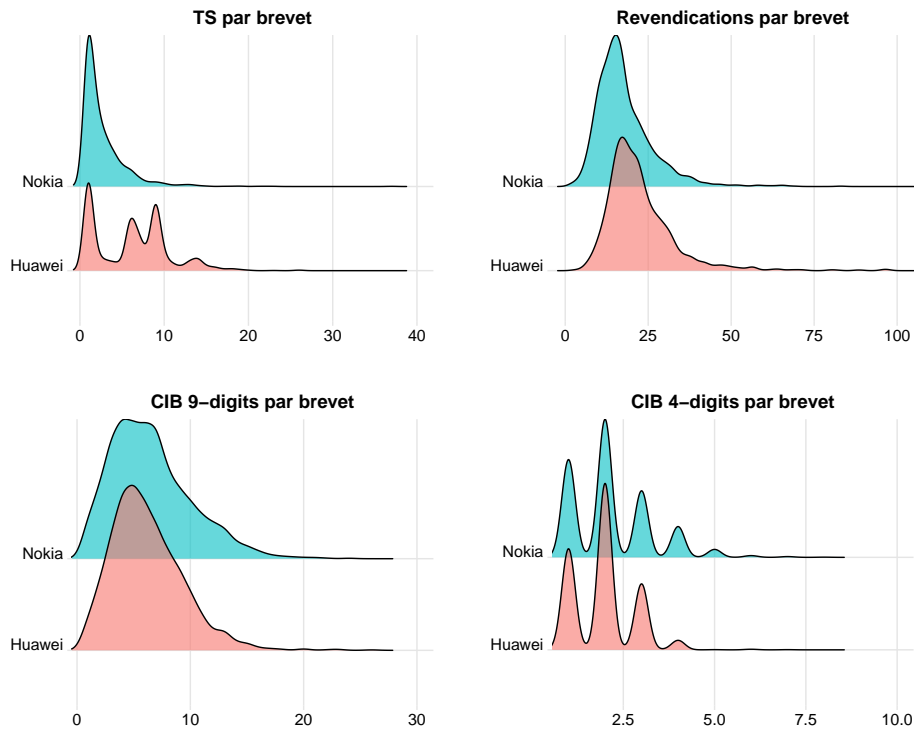


Figure 49. Nombre de standards en commun entre deux acteurs dans les brevets SEP dans le domaine de la 5G.

Source : 3GPP, Orbit, Traitement : Auteurs

Identification du lien entre TS et largeur du brevet

Pour renforcer cette hypothèse, nous regardons la corrélation entre le nombre de TS déclarés et la largeur du brevet.

Point technique : la largeur du brevet :

Par largeur nous entendons la couverture technologique du brevet, un brevet large est un brevet qui revendique une nouveauté sur un espace plus large. La largeur d'un brevet est classiquement mesurée par le nombre de classifications technologiques, le nombre de citations données et/ou le nombre de revendications. Notamment, le nombre de classifications niveau 4 digits est reconnu comme indicateur de l'étendu d'un brevet (Lerner 1994, Squicciarini et al. 2013), le nombre de citations ainsi que le nombre de revendications (J. M. Kuhn et Thompson 2019).

Étant donné que notre étude porte sur un domaine technologique en particulier, nous retiendrons les classifications les plus précises. En effet, au niveau du groupe, la variance entre les brevets n'est que de 1, alors qu'elle est de 20 au niveau du niveau de détail maximal.

Afin de vérifier l'hypothèse que le nombre de standards est effectivement corrélé avec la largeur du brevet, nous créons une matrice des corrélations entre ces variables (figure 50). La variable STRD représente le nombre de TS déclarés dans les brevets de notre

échantillon, la plus forte corrélation que nous observons pour cette variable est 0.17 à la fois pour les citations et les classifications. Cette corrélation est relativement faible (même si statistiquement significative) et positive.

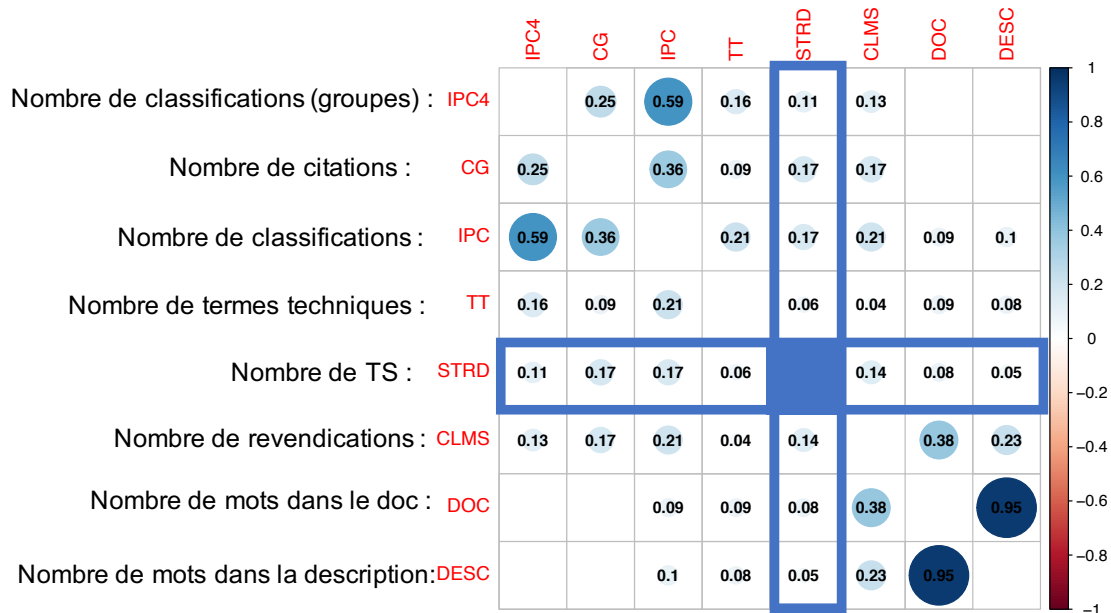


Figure 50. Matrice des corrélations entre les variables en lien avec la largeur des brevets.
textitSource : 3GPP, Orbit, Traitement : Auteurs

En gardant en tête ces corrélations nous cherchons à identifier l'apport de chaque variable au nombre de TS déclarés dans l'ensemble des brevets SEP.

$$TS = IPC + Citations + Revendications + controles \quad (3)$$

La nature des données veut que nous utilisions un modèle de poisson tronqué pour cette estimation. Nous contrôlons pour l'année, les offices et le nombre d'extensions dans cette régression (pour des raisons de lisibilité, nous avons omis ces variables du tableau). Les résultats dans la table 4 montrent un impact significatif de la largeur du brevet sur le nombre de standards, cependant cet effet est très faible. Un claim de plus dans un brevet augmente le nombre de standards de 1.3%, une classification de plus augmente de 2.4%. Les impacts sont donc significatifs, mais faibles. Les classifications ont donc le plus gros pouvoir explicatif pour le nombre de TS, ce qui semble valider l'hypothèse.

Lorsque nous ajoutons une variable pour identifier des effets régionaux (Etats-Unis, Europe, Chine, Japon) l'impact des variables s'affaiblit. De plus, il semble exister un effet régional expliquant le nombre de TS. Notamment les brevets déposés par les acteurs chinois ont contiennent en moyenne 3.35 fois plus de TS comparés à l'Europe, *ceteris paribus*. Nous identifions aussi un effet différenciant avec le Japon et les Etats-Unis.

Dans la table 6 nous identifions des comportements différenciés en fonction des régions. Les acteurs chinois rajoutent des TS sur des brevets ayant plus de revendications (et plus d'extensions alors que les acteurs américains semblent déclarer plus de TS sur des brevets ayant plus de classifications. Les acteurs européens et japonais déclarent plus de TS sur des brevets ayant plus de revendications et plus de classifications. La définition de largeur

	Estimate	e(Estimate)	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	1.397	3.797	0.521	2.680	0.007
Revendications	0.005	0.013	0.0002	26.271	0
Classifications	0.009	0.024	0.001	9.822	0
Contrôles					

Table 4. Tableau de régression basé sur équation 3. Le tableau montre un effet significatif et positif entre les différentes variables mesurant la longueur du brevet et le nombre de TS. Modèle : Poisson tronqué, contrôles pour les années, les offices, les extensions

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	1.297	0.521	2.489	0.013
Revendications	0.003	0.0002	16.902	0
Classifications	0.009	0.001	9.978	0
Etats-Unis // Europe	0.643	0.019	33.787	0
Chine // Europe	1.234	0.017	72.648	0
Japon // Europe	0.677	0.022	31.288	0

Table 5. Tableau de régression avec la région comme variable supplémentaire. Cette régression montre l'impact significatif de la variable région. Toutes les régions sont comparées avec l'Europe. Modèle : Poisson tronqué, contrôles pour les années, les offices, les extensions

du brevet change en fonction de la région. Les acteurs chinois revendiquent plus sur une technologie plus restreinte, alors que les acteurs américains déclarent plus de TS sur les brevets plus diversifiés.

	Europe	Etats-unis	Chine	Japon
(Intercept)	1.099 (*)	0.334 (***)	1.241 (*)	1.18 (*)
Revendications	0.003 (**)	0.0001	0.0036 (***)	0.004 (**)
Classifications	0.012 (**)	0.02 (***)	-0.001	0.012 (**)
Contrôles				

Table 6. Tableau de régression par région pour identifier quelle variable explique le nombre de TS déclarés par brevet. Modèle : Poisson tronqué, contrôles pour les années, les offices, les extensions

Au niveau des acteurs les plus influents, nous observons aussi des comportements différenciés. Dans la table 7, nous montrons que pour Nokia, les classifications ne sont significatives avec un taux de confiance à 10%, ce sont surtout le nombre d'extensions du brevet qui expliquent le nombre de TS. Autrement dit, chez Nokia, plus le brevet est étendu dans des pays différents, plus il a de TS. Pour Huawei ce facteur joue aussi en plus de l'effet positif du nombre de revendications. Chez Huawei un brevet a donc plus de TS lorsque le brevet contient plus de revendications. Le nombre de revendications n'est pas corrélé avec le nombre de classifications. Ceci rejoint le graphe de la figure 43 qui montrait une diversification moindre chez Huawei comparé à Nokia. La stratégie de Huawei semble donc de focaliser sur un

nombre de TS plus restreints, mais de protéger large sur ce domaine. Qualcomm prend un approche différente encore, étant le seul acteur ou les extensions joue négativement sur le nombre de TS. Ericsson, comme Nokia, explique le nombre de TS surtout par le nombre d'extensions du brevet.

	Nokia	Huawei	Qualcomm	Ericsson
(Intercept)	1.357 (***)	1.2091870 (*)	3.041 (***)	1.565 (***)
Revendications	0.0003	0.004 (***)	0.002 (***)	0.0015
Classifications	0.11 (.)	-0.009 (***)	0.012 (***)	0.0083
Extensions	0.067 (***)	0.0346 (***)	-0.009 (***)	0.014 (***)

Table 7. Régression par acteur pour identifier quelles variables expliquent le nombre de TS déclarés par l'acteur. Modèle : Poisson tronqué, contrôles pour les années, les offices.

A retenir :

- Le nombre de TS déclarés par famille de brevets varie fortement d'acteur à acteur.
- Une large majorité de brevets déclarent plus d'un TS par brevet avec une moyenne à 4.2 TS par famille de brevets pour le domaine.
- Au niveau du domaine, la corrélation entre le nombre de TS par famille de brevets et l'étendue du brevet est faible.
- Le comportement des acteurs européens en termes de déclaration de TS est significativement différent de celle des acteurs américains et chinois
- Les acteurs chinois déclarent plus de TS lorsque la famille de brevets contient plus de revendications, les acteurs européens lorsque la famille de brevets est plus étendue, les américains lorsque le brevet contient plus de classifications.

7 Conclusions et recommandations pour la 6G

La première partie de ce rapport focalise sur l'émergence de la technologie. Nous montrons que cette émergence est hautement institutionnalisée, avec une présence et influence forte de l'industrie. L'input des acteurs industriels est nécessaire et souhaitable pour le développement d'une technologie, cependant une trop forte présence risque d'orienter la recherche et peut devenir un obstacle aux innovations radicales. Ce sentier de dépendance qui risque d'émerger pose aussi un problème pour les nouveaux entrants. Ces derniers doivent s'adapter à une norme qui est largement définie par des acteurs hors France et hors Europe. De plus, avec un sentier de dépendance fort, les acteurs en place gardent une position dominante sur une nouvelle génération. Nous voyons déjà la course aux brevets pour les leaders de la 5G pour la prochaine génération.

Influencer

1. Défendre la recherche française dans les instances de normalisation. Ceci implique que les individus présents connaissent les particularités des technologies françaises et sachent les défendre.
2. Se préparer à la création d'un standard européen. Le standard développé principalement en Europe s'est imposé au niveau mondial. Ce ne sera pas forcément le cas pour la 6G. Certains aspects d'une norme fortement influencée par des acteurs hors Europe peuvent poser un problème de souveraineté.

Dans la seconde partie, nous mettons en avant l'excellence de la recherche française. Les grands acteurs du domaine tels que Nokia, Qualcomm, Ericsson et Huawei sont présents dans l'écosystème de la recherche. Les acteurs européens sont encore plus présents par leur implication dans des GIE et autres structures hybrides.

Il manque cependant un champion national de production de puces et antennes 5G. Ce sont donc surtout les acteurs hors France qui bénéficient de la recherche française sur le cœur de la technologie du moins.

Les quelque 180 entreprises françaises qui lèvent des fonds dans le domaine de l'IoT aujourd'hui¹⁷ sont dépendantes des acteurs détenant les brevets SEP, augmentant leurs coûts de production.

Valorisation de la recherche

3. Dans l'objectif de protéger l'industrie, et en notant les flux de connaissances desquels les industriels bénéficient, il conviendrait de défendre une clarification des conditions FRAND, voire de négocier un tarif privilégié pour les start-ups.
4. Aider les acteurs de la recherche dans la protection et valorisation de leurs inventions.
5. La position forte de la France d'un point de vue de la recherche procure un pouvoir de négociation avec les acteurs industriels étrangers.

Le système des SEP souffre de plusieurs limites, qui jouent en faveur des acteurs historiques. En analysant l'écosystème, nous pouvons voir que les financements en place bénéficient indirectement et directement aux entreprises. En mobilisant les outputs de la recherche, ces derniers déposent des brevets et demandent ensuite des royalties.

17. Source : Crunchbase - recherche effectuée en juin 2021

Brevets et norme

6. Le système déclaratif des SEP pose un risque pour les TPE/PME du secteur. Les différents au sujet de la pertinence des brevets se règle devant les tribunaux avec un impact financier fort pour les plus petits acteurs.
7. Les conditions FRAND doivent être plus explicites pour protéger les acteurs de l'IoT notamment.

L'analyse de l'output de la recherche montre des thématiques différenciées entre la recherche financée et non financée. Les projets financés par l'ANR abordent des questions de recherche plus fondamentales que les projets européens. Nous observons cependant une forte présence industrielle dans les projets de l'ANR. Le lien science-industrie est primordial pour tout domaine de recherche, mais la recherche fondamentale doit avoir une certaine autonomie. Cependant, une recherche fondamentale ignorée par l'industrie risque de jouer en défaveur de la position actuelle de la France.

Financement de la recherche

8. Soutenir la recherche fondamentale et assurer la valorisation des résultats de cette recherche auprès des acteurs industriels. Mettre en cohérence les objectifs des instances de valorisation.
9. Soutenir le développement des start-ups, TPE et PME en accompagnant leur intégration dans un écosystème dominé par de grands acteurs.

8 Annexes

Les thématiques identifiées dans les publications financées uniquement

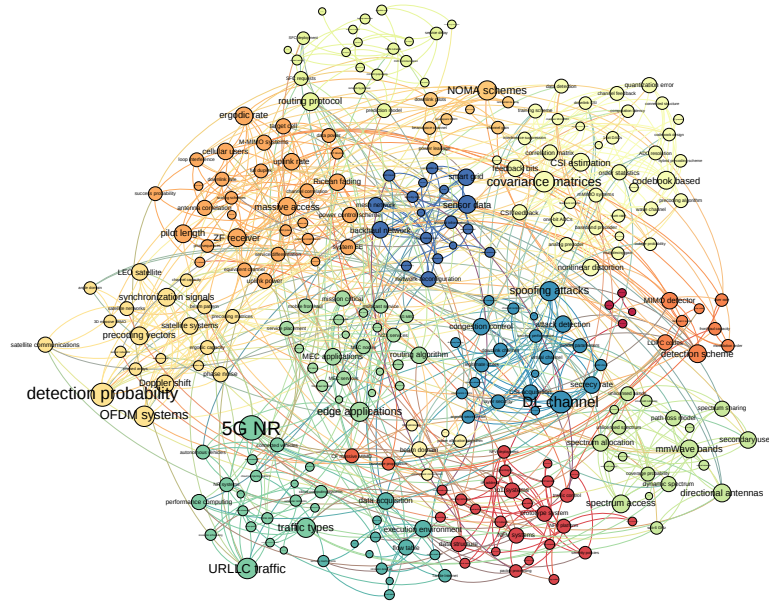


Figure 51. Thématiques identifiées dans les publications financées

Les thématiques identifiées dans les publications non-financées uniquement.

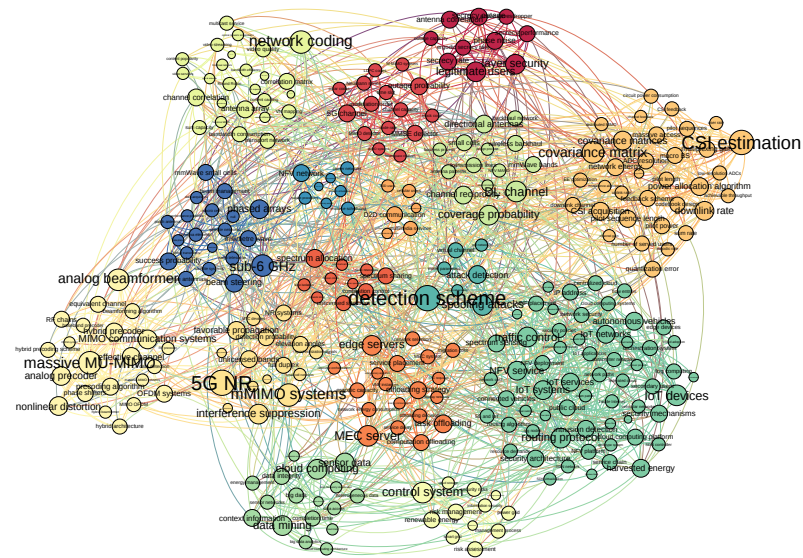


Figure 52. Thématiques identifiées dans les publications non financées

Références

- Alfred, Joseph (2019). « Licensing Standards Essential Patents (Seps)—Round Two ». In : *les Nouvelles—Journal of the Licensing Executives Society* 54.4 (cf. p. 49).
- ANR (2010). « Rapport annuel de l'Agence National de la Recherche (ANR) ». In : (cf. p. 43).
- (2016). « CONTRAT D'OBJECTIFS ET DE PERFORMANCE ÉTAT/ANR 2016–2019 ». In : (cf. p. 43).
- (2021). « CONTRAT D'OBJECTIFS ET DE PERFORMANCE ÉTAT/ANR 2021–2025 ». In : (cf. p. 43).
- Arnold, Christian, Daniel Kiel et Kai-Ingo Voigt (2016). « How the industrial internet of things changes business models in different manufacturing industries ». In : *International Journal of Innovation Management* 20.08, p. 1640015 (cf. p. 3).
- Bekkers, Rudi, René Bongard et Alessandro Nuvolari (2011). « An empirical study on the determinants of essential patent claims in compatibility standards ». In : *Research Policy* 40.7, p. 1001-1015 (cf. p. 49).
- Bem, Daryl J (1995). « Writing a review article for Psychological Bulletin. » In : *Psychological Bulletin* 118.2, p. 172 (cf. p. 11).
- Breschi, Stefano, Francesco Lissoni et Franco Malerba (2003). « Knowledge-relatedness in firm technological diversification ». In : *Research Policy* 32.1, p. 69-87 (cf. p. 57).
- Cimini, Chiara, Giuditta Pezzotta, Roberto Pinto et Sergio Cavalieri (2018). « Industry 4.0 technologies impacts in the manufacturing and supply chain landscape : an overview ». In : *International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing*. Springer, p. 109-120 (cf. p. 3).
- Colledge, Lisa (2014). « Snowball metrics recipe book ». In : *Amsterdam : Snowball Metrics Program Partners* 110 (cf. p. 14).
- Cramer, Elliot M et W Alan Nicewander (1979). « Some symmetric, invariant measures of multivariate association ». In : *Psychometrika* 44.1, p. 43-54 (cf. p. 25).
- Csardi, Gabor, Tamas Nepusz et al. (2006). « The igraph software package for complex network research ». In : *InterJournal, complex systems* 1695.5, p. 1-9.
- Curien, Nicolas (2000). *Economie des réseaux*. T. 4. Éditions La Découverte Paris (cf. p. 4).
- Hallingby, Hanne Kristine, Olai Bendik Erdal et Costas Kalogiros (s. d.). « 5G ecosystem dilemmas : sharing roles and revenues ». In : () (cf. p. 3).
- Hlavac, Marek (2015). « stargazer : beautiful LATEX, HTML and ASCII tables from R statistical output ». In.
- Ho, Mei Hsiu-Ching, John S Liu et Kerr C-T Chang (2017). « To include or not : the role of review papers in citation-based analysis ». In : *Scientometrics* 110.1, p. 65-76 (cf. p. 11).
- Hu, Wei, Tohru Yoshioka-Kobayashi et Toshiya Watanabe (2020). « Determinants of patent infringement awards in the US, Japan, and China : A comparative analysis ». In : *World Patent Information* 60, p. 101947 (cf. p. 53).
- INPI (2017). « Le brevet, Tout ce qu'il faut savoir avant de déposer un brevet ». In : *INPI* (cf. p. 49).
- Jaffe, A. B. (1986). « Technological Opportunity and Spillovers of R & D : Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value ». In : *The American Economic Review* 76.5, p. 984-1001 (cf. p. 57).
- Kaiyuan, T. (2019). « China's commitment to strengthening IP judicial protection and creating a bright future for IP rights ». In : *WIPO Magazine* 3. url : https://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2019/03/article_0004.html (cf. p. 53).
- Katz, Michael L et Carl Shapiro (1994). « Systems competition and network effects ». In : *Journal of economic perspectives* 8.2, p. 93-115 (cf. p. 4).
- Kleiber, Christian et Achim Zeileis (2017). « Countreg : tools for count data regression ». In : *The R User Conference, useR! 2017 July 4-7 2017 Brussels, Belgium*, p. 47.
- Kuhn, Jeffrey M et Neil C Thompson (2019). « How to measure and draw causal inferences with patent scope ». In : *International Journal of the Economics of Business* 26.1, p. 5-38 (cf. p. 65).

- Kuhn, Max, Jed Wing, Steve Weston, Andre Williams, Chris Keefer, Allan Engelhardt, Tony Cooper, Zachary Mayer, Brenton Kenkel, R Core Team et al. (2020). « Package 'caret' ». In : *The R Journal* 223.
- Lerner, Joshua (1994). « The importance of patent scope : an empirical analysis ». In : *The RAND Journal of Economics*, p. 319–333 (cf. p. 65).
- Mao, Yuanyuan (2021). « Analyzing the current status of global 5G research from the perspective of bibliometrics ». In : *Journal of Physics : Conference Series*. T. 1955. 1. IOP Publishing, p. 012050 (cf. p. 49).
- Miranda, Ruben et Esther Garcia-Carpintero (2018). « Overcitation and overrepresentation of review papers in the most cited papers ». In : *Journal of Informetrics* 12.4, p. 1015–1030 (cf. p. 11).
- Moed, Henk F (2006). *Citation analysis in research evaluation*. T. 9. Springer Science & Business Media (cf. p. 14).
- Morgan, JP (s. d.). <https://www.jpmorgan.com/insights/research/future-of-5g-adoption> (cf. p. 3).
- Noble, Matthew, Jane Mutimear et Richard Vary (2019). « Determining which companies are leading the 5G race ». In : *Wireless Technology, IAM-Media., Aug* (cf. p. 49).
- Piro, Fredrik Niclas et Gunnar Sivertsen (2016). « How can differences in international university rankings be explained ? » In : *Scientometrics* 109.3, p. 2263–2278 (cf. p. 14).
- Pol, Johannes van der et Jean-Paul Rameshkoumar (2018). « The co-evolution of knowledge and collaboration networks : the role of the technology life-cycle ». In : *Scientometrics* 114.1, p. 307–323 (cf. p. 51).
- Rassenfosse, Gaétan de et Emilio Raiteri (2020). « Technology protectionism and the patent system : strategic technologies in China ». In : *Available at SSRN 2803379* (cf. p. 53).
- Sendstad, Marte (2012). « Challenges and opportunities for governing ecosystem services in an urban world : A systematic review and synthesis ». In : (cf. p. 11).
- Squicciarini, Mariagrazia, Hélène Derris et Chiara Criscuolo (2013). « Measuring patent quality : Indicators of technological and economic value ». In : (cf. p. 65).
- Stasik, Erik et David L Cohen (2020). « Royalty Rates and Licensing Strategies for Essential Patents on 5g Telecommunication Standards : What to Expect ». In : *les Nouvelles-Journal of the Licensing Executives Society* 55.3 (cf. p. 5).
- STINT (2014). « Collaboration quadrants – mapping the effects of international collaboration ». In : (cf. p. 17).
- Stitzing, Robin, Pekka Säskilähti, Jimmy Royer et Marc Van Audenrode (2017). « Over-declaration of standard essential patents and determinants of essentiality ». In : *Available at SSRN 2951617* (cf. p. 49).
- Teece, David J (2021). « Technological Leadership and 5G Patent Portfolios : Guiding Strategic Policy and Licensing Decisions ». In : *California Management Review* 63.3, p. 5–34 (cf. p. 5, 49).
- Van Der Pol, Johannes (2015). « Structural dynamics of the French aerospace sector : A network analysis ». In : (cf. p. 51).
- (nov. 2016). « Social network of firms, innovation and industrial performance ». Theses. Université de Bordeaux. url : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01532053> (cf. p. 59).
- Van Der Pol, Johannes et al. (2018). *A topology of Collaboration strategies*. Rapp. tech. (cf. p. 51).
- Wickham, Hadley (2011). « ggplot2 ». In : *Wiley Interdisciplinary Reviews : Computational Statistics* 3.2, p. 180–185.
- Wickham, Hadley, Mara Averick, Jennifer Bryan, Winston Chang, Lucy D'Agostino McGowan, Romain François, Garrett Grolemond, Alex Hayes, Lionel Henry, Jim Hester et al. (2019). « Welcome to the Tidyverse ». In : *Journal of open source software* 4.43, p. 1686.

Yee, Thomas W et al. (2010). « The VGAM package for categorical data analysis ». In : *Journal of Statistical Software* 32.10, p. 1-34.