



HAL
open science

Impact du financement de la recherche : Nanosciences

Johannes van Der Pol, Jean-Paul Rameshkoumar, Ines Dhuit

► **To cite this version:**

Johannes van Der Pol, Jean-Paul Rameshkoumar, Ines Dhuit. Impact du financement de la recherche : Nanosciences. [Rapport de recherche] Univ. Bordeaux, CNRS, BSE, UMR 6060. 2022. hal-03523292v1

HAL Id: hal-03523292

<https://hal.science/hal-03523292v1>

Submitted on 12 Jan 2022 (v1), last revised 15 Feb 2023 (v3)

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 : Nanosciences

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 Données et Méthodes	4
2.1 Données	4
Les inputs de la recherche et l'innovation	4
Les communications scientifiques : Articles scientifiques et articles de conférences	4
Les brevets : l'industrialisation	4
2.2 Méthodes	5
3 Panorama mondial des activités de propriété intellectuelle dans les nanomatériaux	5
3.1 Les nanomatériaux : Une dynamique mondiale de propriété intellectuelle en consolidation depuis 2015	6
3.2 Une dynamique inventive principalement asiatique et américaine adressant un marché mondialisé	7
3.3 Un domaine porté par les acteurs électroniques et académiques au niveau mondial et un positionnement français porté principalement par le CNRS, le CEA et concentrés sur quelques grands industriels	9
4 Focus France (acteurs & technologies)	11
4.1 Une structuration des activités de propriété intellectuelle diversifiée pour le CNRS, le CEA et les grands chimistes français et plus spécifiques pour les autres industriels	11
4.2 Une activité de recherche française dynamique et structurée d'un point de vue territorial	15
4.3 Caractéristiques des activités scientifiques et des forces en présence	17
5 Focus sur les activités de deux établissements de recherche nationaux clé : LE CEA et le CNRS	26
5.1 Le CEA : un organisme concentré principalement dans la valorisation de ses activités technologiques dans les nanomatériaux pour des applications électroniques et énergétiques	26
5.2 CNRS : Un organisme pivot dans la valorisation des nanosciences et dans le développement de projets science-industrie	30
6 Conclusions et recommandations	35
6.1 Recommandations générales	35
6.2 Recommandations filières	36
Filière chimie :	36
Autres filières :	36
Bibliographie	37

1 Introduction

Les matériaux avancés sont reconnus comme faisant partie des technologies clés par la Direction Générale des Entreprises (DGE). Dans son rapport sur les technologies clés (DGE, 2020, p219), la DGE a qualifié les matériaux avancés comme :

“Les matériaux fonctionnels, les matériaux à haute performance, les matériaux à haute valeur ajoutée, etc. Ils constituent une famille large de matériaux qui concernent de nombreux domaines d’application”.

Les nanosciences (nanomatériaux et nanotechnologies) sont associées aux matériaux avancés et actifs et constituent un segment stratégique pour des secteurs souhaitant produire ou bénéficier des matériaux à haute performance. Ce marché, évalué à 1,76 milliard de dollars en 2020, devrait connaître une croissance lui permettant d’atteindre un marché de 33.63 milliards en 2030 (Allied Market Research, 2021). Dans ce rapport les nanosciences seront considérées comme étant l’ensemble des travaux associés aux procédés de fabrication et de manipulation de structures à l’échelle du nanomètre.

Les défis associés à ces technologies sont nombreux, comme le financement des PME, le passage à l’échelle industrielle, mais également la capacité des acteurs à disposer ou mobiliser des capacités de recherche puis les protéger. Dans la compétition internationale sur les matériaux avancés et actifs, la France, en regard de ses entreprises, occupe une position qualifiée d’intermédiaire (capacité productive et en recherche & développement (DGE ,2020, P228) qu’en est-il plus spécifiquement des nanosciences ?

Le segment des nanosciences a régulièrement été étudié dans la littérature (Romig Jr et al. 2007, Justo-Hanani et Dayan 2015). Si les analyses s’intègrent dans une lecture permettant de bénéficier d’un état des enjeux concurrentiels au niveau mondial, elles ne permettent pas pour autant d’élaborer une analyse stratégique associée aux enjeux français. Notre rapport visera à combler cette absence.

L’intelligence technologique est une pratique informationnelle d’aide à la décision dans le domaine de la recherche et l’innovation (Le Crenn et al. 2021). Initialement issue de la littérature anglo-saxonne, elle s’adressait tout d’abord aux acteurs industriels. Elle s’est adaptée ces dernières années à d’autres acteurs comme les universités, ou des collectivités territoriales (Pol et al. 2021, Flamand et al. 2022). Le rapport souhaite de la même manière permettre au ministère de l’Enseignement supérieur de la recherche et de l’innovation ainsi que son écosystème de bénéficier d’une analyse permettant d’évaluer sa stratégie actuelle et de contribuer à construire une vision prospective sur le domaine.

Comment la France peut-elle renforcer/adapter une politique d’accompagnement de la recherche publique en mesure de faire émerger ou renforcer l’écosystème d’innovation des nanosciences ?

2 Données et Méthodes

2.1 Données

Les inputs de la recherche et l'innovation

Nous identifions les financements de la recherche par le biais des appels à projets ANR et projets européens (H2020). En mobilisant ces données, nous sommes en mesure d'analyser la dynamique d'investissement dans le domaine et d'analyser l'écosystème d'innovation gravitant autour (acteurs financés, montants investis).

Ces inputs sont matchés avec un output de la recherche : la communication scientifique. Ces dernières contiennent en effet une section « financeurs » et « remerciements ». À partir de ces informations, nous identifions quelle publication a bénéficié de quelle source de financement.

Les appels à projets de recherche constituent une information amont permettant d'identifier des dynamiques de recherche et la structuration de l'écosystème. Elles permettent de constituer une analyse des dynamiques d'investissement sur les domaines ainsi que leurs structures (parties prenantes, niveau d'investissement). Ces données peuvent être corrélées aux données de communications scientifiques par le biais des remerciements dans les notices bibliographiques.¹

Les communications scientifiques : Articles scientifiques et articles de conférences

L'analyse de l'output de la recherche se fera par l'analyse des communications scientifiques dans le domaine. Afin d'identifier les communications pertinentes, nous construisons une requête avec des mots clés du domaine. Cette requête est lancée sur la base de données Scopus. Étant donné que nous nous intéressons à la technologie, nous excluons de notre analyse les sciences humaines et sociales pour ne considérer que les activités scientifiques contribuant au développement du domaine. Nous intégrerons seulement les articles scientifiques et les conference paper dans notre analyse, ces derniers sont considérés comme des vecteurs de communication contribuant à de nouvelles connaissances sur un sujet scientifique.

L'analyse des activités scientifiques portera sur un panorama des nanosciences. Ce panorama est construit sur la base de mot clé concernant le domaine. Le panorama portera sur l'année 2010 à nos jours au niveau mondial. Nous excluons de notre analyse les sciences humaines et sociales pour ne considérer que les activités scientifiques contribuant au développement du domaine et pas à l'observation de ce domaine et ses diverses problématiques socio-économiques. Nous intégrons seulement les articles scientifiques et les conference papers dans notre analyse, ces derniers sont considérés comme des vecteurs de communication contribuant à de nouvelles connaissances sur un sujet scientifique.

Les brevets : l'industrialisation

En dernier lieu, nous regardons les brevets. Ces derniers nous permettent d'analyser l'industrialisation de la technologie et donc d'identifier un lien entre la recherche et son impact sur l'industrie.

L'analyse des activités technologiques se fondera sur l'analyse d'un portefeuille de famille de brevets dans les nanomatériaux. Nous considérerons ce portefeuille comme un axe

1. Une notice bibliographique est une fiche regroupant un ensemble d'information permettant de caractériser une communication scientifique (date de publication, affiliation, résumé...).

permettant de transférer ces actifs auprès de l'industrie, mais aussi de continuer à développer les nanosciences par des avancées dans les structures de nanomatériaux. Ces technologies sont un aspect d'importance dans la valorisation des nanosciences. Nous utiliserons la base de données Orbit de Questel. Avec la famille de brevets comme unité statistique.

Notre analyse portera sur un portefeuille mondial dont nous isolerons la Chine pour des raisons de sur-représentativité. Des focus territoriaux seront réalisés sur le portefeuille au niveau européen et français afin de comprendre les dynamiques spécifiques de ces territoires.

2.2 Méthodes

Ce rapport s'appuiera sur l'analyse de deux segments : un scientifique et un technologique. Le segment scientifique analysera l'ensemble des nanosciences. Les nanosciences seront considérées comme étant l'ensemble des travaux associés aux procédés de fabrication et de manipulation de structures à l'échelle du nanomètre. Le segment technologique se concentrera principalement sur la fabrication de ces technologies qu'on nommera ici : nanomatériaux. Ces segments viseront à caractériser les enjeux scientifiques et technologiques au niveau mondial puis de positionner les forces et faiblesses de la France dans le domaine.

Le rapport contribuera à déterminer comment les politiques publiques ont impacté les efforts inventifs des acteurs de la recherche français vis-à-vis des activités mondiales. Elle visera ensuite à les analyser plus finement afin d'identifier des leviers d'action à renforcer ou à mettre en place afin de faciliter les investissements publics et l'attractivité de financement privé.

3 Panorama mondial des activités de propriété intellectuelle dans les nanomatériaux

Cette section se concentrera sur les enjeux de développement des technologies de nanomatériaux. Nous nous appuierons pour cela sur une analyse globale des tendances d'activité de dépôts de brevet au niveau mondial. L'analyse porte sur trois dimensions permettant d'offrir un référentiel de comparaison et de valorisation des activités scientifiques et technologiques françaises. Les trois dimensions sont les suivantes :

- **Temporelle** : permettant de comprendre les dynamiques de développement dans les nanomatériaux
- **Spatiale** : identifiant la répartition géographique des développements inventifs sur le sujet et donc l'intensité des concurrences territoriales sur le sujet
- **Compétitive** : conduisant d'une part à connaître les principaux acteurs positionnés dans le domaine ainsi que leur nationalité et leur secteur d'appartenance. Cette analyse offre une lecture plus précise de l'écosystème français dans les secteurs positionnés sur ces enjeux et ceux qui en sont absents ou faiblement représentés.
- La dimension **technologique** n'est pas étudiée ici mais le sera plus précisément dans le cadre de l'analyse de l'écosystème français d'innovation dans la section II. Celle-ci permettra de distinguer la spécificité de l'écosystème français dans le domaine et donc de concentrer l'analyse sur ces enjeux plus spécifiques.

En gardant en tête ces dimensions, la figure 1 montre les différentes sources de données qui sont mobilisées pour répondre à l'objectif de ce rapport. Les différentes sous-questions qui seront traitées sont aussi reliés aux sources de données que nous mobiliserons.

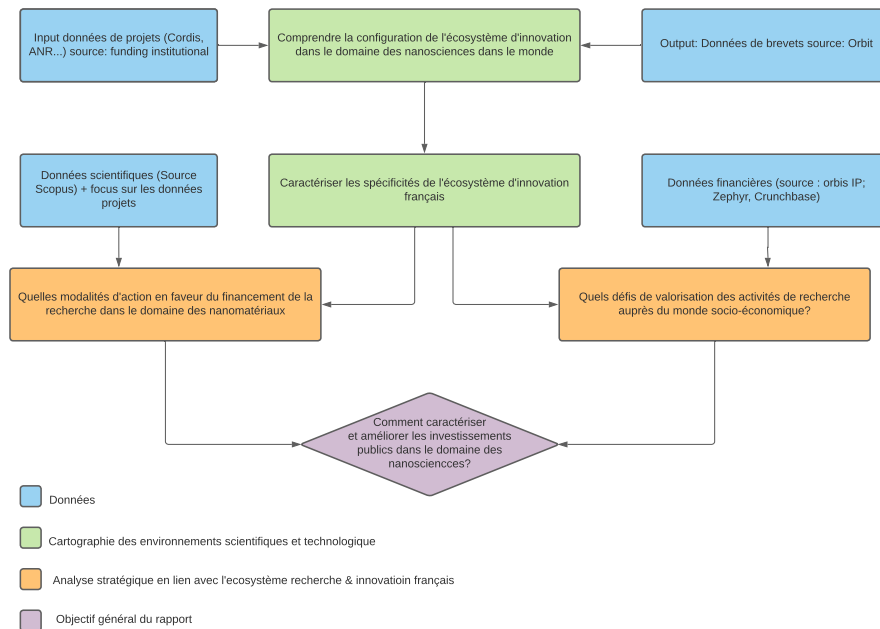


Figure 1. Méthode mise en œuvre pour le rapport d'analyse stratégique sur les nanosciences.

3.1 Les nanomatériaux : Une dynamique mondiale de propriété intellectuelle en consolidation depuis 2015

La requête sur les nanosciences dans la base de données Orbit nous permet d'identifier 82.431 familles de brevets, toutes périodes confondues. La croissance dans les dépôts de brevet dans le domaine a été exponentielle du début des années 2000 jusqu'au début des années 2010.

L'activité inventive a continué de croître à partir de 2015 portée par la dynamique des activités de dépôts en Chine. La dynamique d'innovation chinoise doit cependant être étudiée à part. En effet, elle est associée à une dynamique propre qui n'est pas toujours corrélée à la dynamique mondiale. Ainsi, le portefeuille hors Chine est constitué de 40.646 familles de brevets sur toute la période, dont 22.974 familles de brevets depuis 2010.

La dynamique de dépôt dans le domaine a connu une décline depuis 2012. La réduction des activités inventives (voir figure 2) se lie à plusieurs effets associés d'une part aux applications possibles et les technologies alternatives, les capacités d'industrialisation et un enjeu majeur concernant la santé publique et la toxicité de ces matériaux pour les hommes.

Les acteurs ayant des activités inventives en France ont constitué un portefeuille de 979 familles de brevets dans le domaine. Sa dynamique suit la tendance mondiale de dépôt dans le domaine comme montré dans la figure 3). La dynamique de dépôts annuelle est désormais fixée autour de 80 familles de brevets par an. Si la France partage la dynamique mondiale, elle dispose cependant d'un portefeuille de brevet encore en vigueur plus important qui peut indiquer une croyance plus importante dans le potentiel des technologies brevetées vis-à-vis des activités dans le monde.

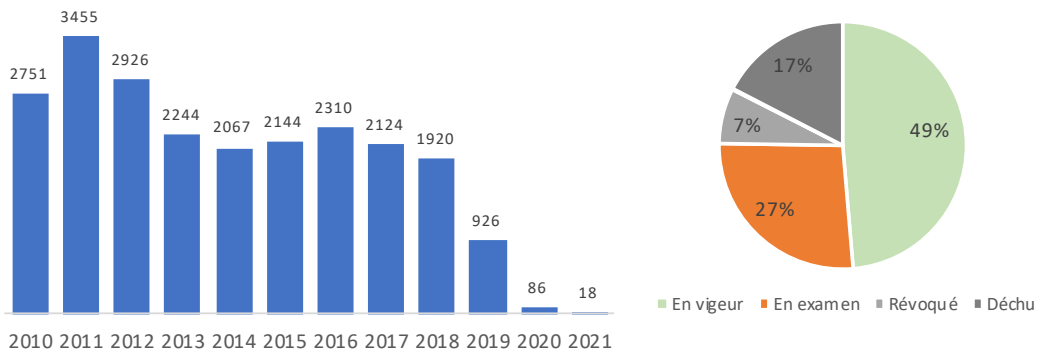


Figure 2. Dynamique mondiale (hors Chine) et statut des activités technologiques dans le domaine des nanomatériaux. L'année 2019 et 2020 ne sont pas complètes du fait des 18 mois entre le dépôt prioritaire et la publication du brevet.
Unité : Nombre de familles de brevets déposés par année, source Orbit , traitement auteurs

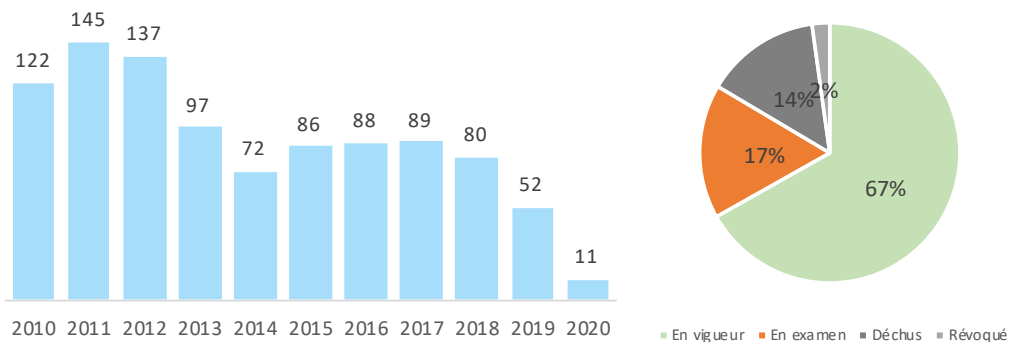


Figure 3. Dynamique française et statut des activités technologiques dans le domaine des nanomatériaux. L'année 2019 et 2020 ne sont pas complètes du fait des 18 mois entre le dépôt prioritaire et la publication du brevet, Les brevets identifiés en 2020 correspondent à des publications anticipées.
Unité : Nombre de familles de brevets déposés par année, source Orbit , traitement auteurs

3.2 Une dynamique inventive principalement asiatique et américaine adressant un marché mondialisé

Les activités inventives dans les nanosciences se concentrent principalement en Amérique du Nord et en Asie. Ces territoires sont également les marchés principaux comme l'indiquent les pays de protection des brevets (figure 4). La présence des sites de production électronique en Asie et en Amérique semble se lier à la présence d'une intensité d'activité R&D sur ces territoires. L'Inde se révèle comme un pays positionné dans ces technologies constituant une originalité vis-à-vis de sa place dans les dynamiques brevets habituels.

La volumétrie relativement faible de la France ne préjuge pas nécessairement d'un positionnement faible sur ces technologies, mais peut-être d'un positionnement plus ciblé (voir la section 4 de ce rapport). Il faut également noter que les pratiques des différents offices de brevets ne sont pas homogènes. Le Japon et la Corée du Sud permettent aux acteurs de faire une demande de brevet sans nécessairement demander l'examen facilitant une volumétrie de dépôt dans ces pays.

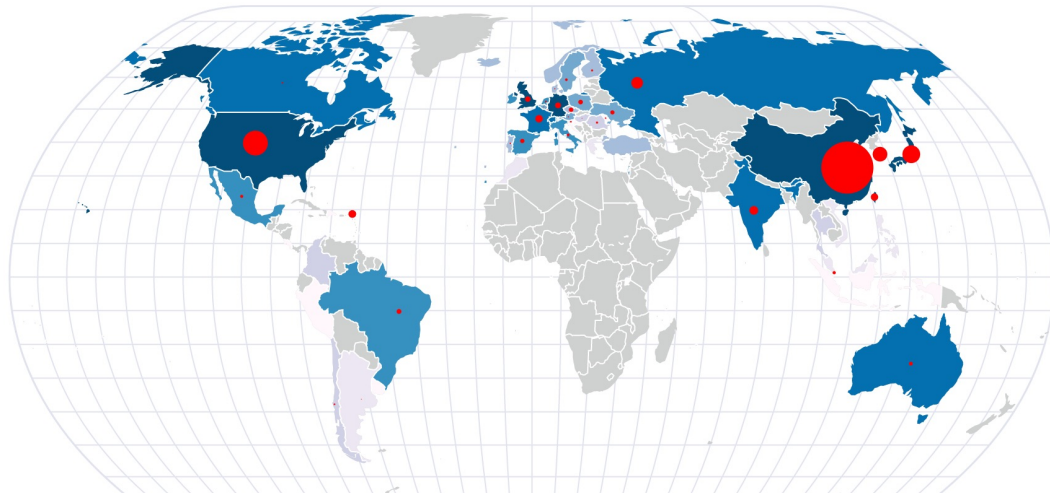


Figure 4. Géographie des activités dans le domaine des nanomatériaux.
Source Orbit, Khartis, traitement auteurs)

Les dynamiques géographiques dans la figure 5, nous permettent d’observer la répartition des niveaux d’investissement et de croyance dans la technologie. Les États-Unis, le Japon et la Corée du Sud ont connu une décrue de leurs dépôts tout comme les pays européens. D’autres territoires se distinguent par des dynamiques encore croissantes comme l’Inde et la Russie. La Chine partage également cette croissance, mais doit être considérée avec prudence.

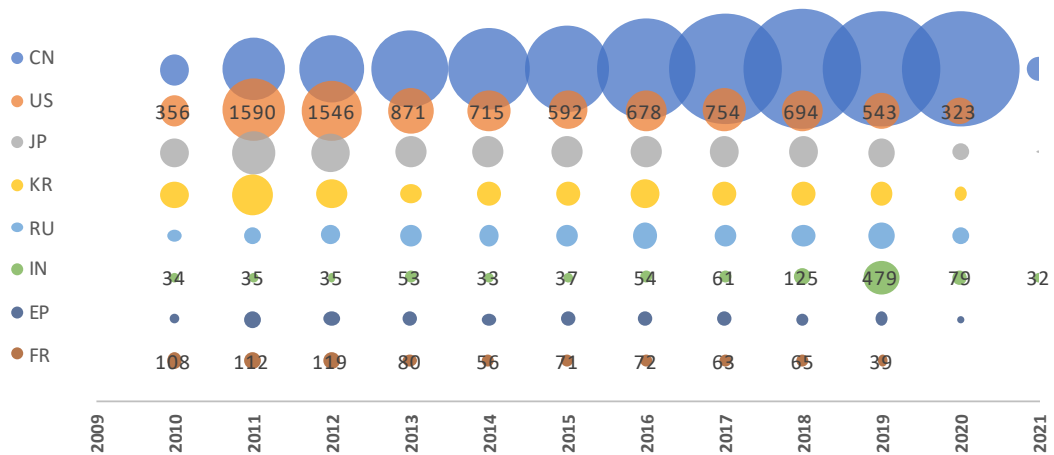


Figure 5. Dynamique géographique des activités dans le domaine des nanomatériaux.
Nombre de familles par année et par pays. L’année 2019 et 2020 ne sont pas complètes du fait des 18 mois entre le dépôt prioritaire et la publication du brevet.
Source Orbit, traitement auteurs)

3.3 Un domaine porté par les acteurs électroniques et académiques au niveau mondial et un positionnement français porté principalement par le CNRS, le CEA et concentrés sur quelques grands industriels

Focus Chine

La Chine est isolée dans cette partie afin d'identifier des acteurs au-delà de ce territoire. Pour information, les forces en présence sur le territoire chinois se caractérisent par une structure assez classique composée d'acteurs universitaires et d'un taux d'extension de leurs activités très faible. Cette inversion de typologie d'acteurs académiques et privés vis-à-vis des pays occidentaux s'explique par les liens forts entre les industriels chinois et le monde académique (Agarwala et Chaudhary 2019, Cassiolato et Vitorino 2009). La volumétrie de dépôt des acteurs académiques est associée aux politiques d'incitation de l'Etat chinois afin de rattraper les capacités de recherche et développement des pays occidentaux. Deux acteurs se distinguent cependant au sein de l'écosystème chinois, le Taïwanais Foxconn (ou hon hai precision industry) et TCL, industriels connus désormais au niveau mondial.

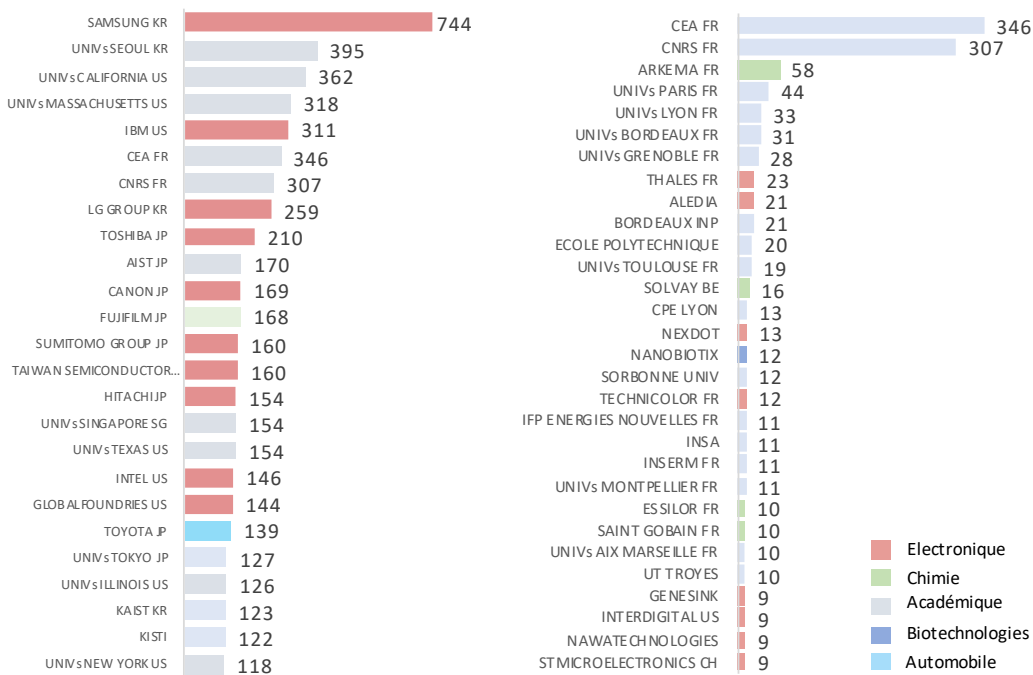


Figure 6. Forces en présences dans les nanomatériaux dans le monde et en France.

Nombre de famille de brevets par acteur déposés depuis 2010.

Source : Orbit, traitement auteur)

La figure 6 montre, en dehors de la Chine, que la dynamique est portée par une présence notable d'acteurs de l'électronique (semi-conducteur, dalle d'écran...). La configuration productive de l'industrie électronique se concentre principalement dans les pays asiatiques (Corée du Sud, Japon et Chine). Nous pouvons effectivement observer une relation entre les activités de propriété intellectuelle et la configuration productive. La présence de grands acteurs de l'électronique comme Samsung, TSMC, Hitachi, ou Globalfoundries mettent en exergue l'importance de ces développements technologiques dans la production de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques.

L'Europe dispose également d'acteurs de l'électronique avec des portefeuilles de brevets plus réduits. Ces acteurs sont allemands (Bosch, Carl Zeiss...) et français avec des portefeuilles de brevets individuels inférieurs à 50 familles de brevets.

Les activités françaises sont principalement portées par des acteurs de la recherche (EPST et universités). Le CEA et le CNRS sont bien identifiés dans le domaine, étant parmi les principaux déposants de brevets dans le domaine au niveau mondial. Les dynamiques de dépôts de brevet au niveau industriel peuvent être découpées en deux principaux axes : la chimie et les applications électroniques. La chimie est portée principalement par de grands opérateurs comme Arkema et Solvay qui disposent également de relations fortes avec différentes universités du territoire. Concernant l'électronique les dépôts se concentrent principalement autour de Thalès, Aledia puis de plus petites structures ayant des portefeuilles relativement réduits (Nawatechnologies, Nexdot, Genesink). Nanobiotix se distingue comme le seul acteur industriel dans le domaine pharmaceutique et bien-être. Les autres acteurs de la santé ont des portefeuilles de brevets inférieurs à dix familles de brevets comme Curadigm (cinq familles de brevets), L'Oréal (quatre familles de brevets) ou Nano H et Guerbet (trois familles de brevets).

4 Focus France (acteurs & technologies)

La France est portée dans le domaine des nanomatériaux par des acteurs académiques et quelques acteurs industriels de la chimie et des acteurs de plus petite taille dans le domaine de l'électronique. Une lecture des activités scientifiques françaises dans le domaine des nanosciences visera ici à mieux décrire le positionnement spécifique de la France et la construction des relations science-industrie sur le sujet.

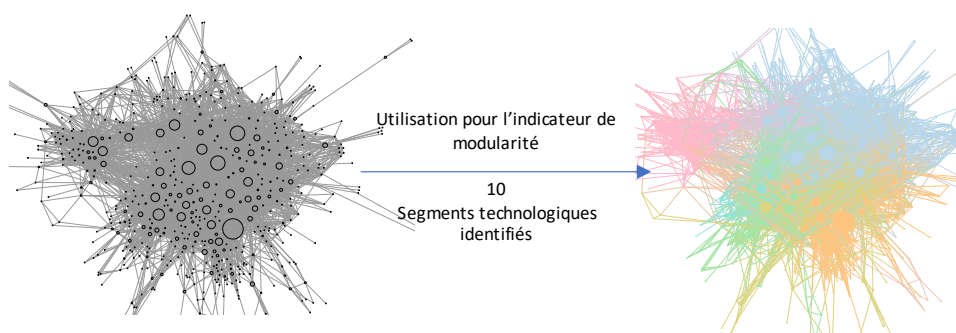
4.1 Une structuration des activités de propriété intellectuelle diversifiée pour le CNRS, le CEA et les grands chimistes français et plus spécifiques pour les autres industriels

Analyse des réseaux

Nous avons utilisé des techniques d'analyse des réseaux afin de segmenter le portefeuille de brevets de la France dans les nanomatériaux. Cette technique consiste à utiliser les nomenclatures contenues dans les brevets (codes de la classification internationale des brevets) qui forment des chaînes dans chaque brevet (un brevet dispose de deux ou plusieurs codes donnés par l'office ou les offices de brevets dans le(s)quel(s) il a été déposé). L'analyse des réseaux prend l'ensemble de ces chaînes de codes qui sont agrégés pour former un réseau. Ce réseau est ensuite discriminé en clusters par une technique de modularité (Blondel et al. 2008).

Dix segments ont ainsi été distingués allant de portefeuilles de 528 familles de brevets (matériaux pour semi-conducteurs) jusqu'à des clusters à 4 familles de brevets (ex : applications spatiales). Un brevet peut appartenir à plusieurs segments. La représentation ci-dessous permet d'avoir une visualisation de ce travail technique. Les nœuds d'une même couleur appartiennent à un même segment. Chaque nœud est une classification, chaque lien indique la présence des deux classifications sur au moins une famille de brevets.

Représentation graphique du réseau des groupes CIB dans les nanomatériaux :



La segmentation du portefeuille de brevets (figure 7) nous permet d'observer que l'ensemble des thématiques ont été impactées par une baisse de brevets en 2013. Depuis, les dynamiques de dépôts de brevet sur les thématiques se sont globalement stabilisées dans les grands domaines. Ce maintien d'activité et le maintien du statut des brevets sur ces domaines conduisent à conclure à une continuité de la croyance des acteurs dans ces technologies. Les thématiques mineures peuvent également constituer des segments stratégiques d'importance. Par exemple, Le segment d'application pour décharge électrique ou lampe à décharge comprend des brevets de la société Photonis. Cette société a été reconnue comme une société disposant de technologies critiques. Cette dénomination a

conduit la France à refuser le rachat de l'acteur par l'américain Teledyne. Le dernier brevet de ces brevets identifiés en 2016 a été co-déposé avec le CNRS. La qualification de technologie critique peut nous laisser croire qu'il est nécessaire de renforcer les activités de propriété intellectuelle sur le sujet avec l'entreprise ou de façon autonome par le CNRS afin de transférer ces actifs auprès d'autres industriels si nécessaires.

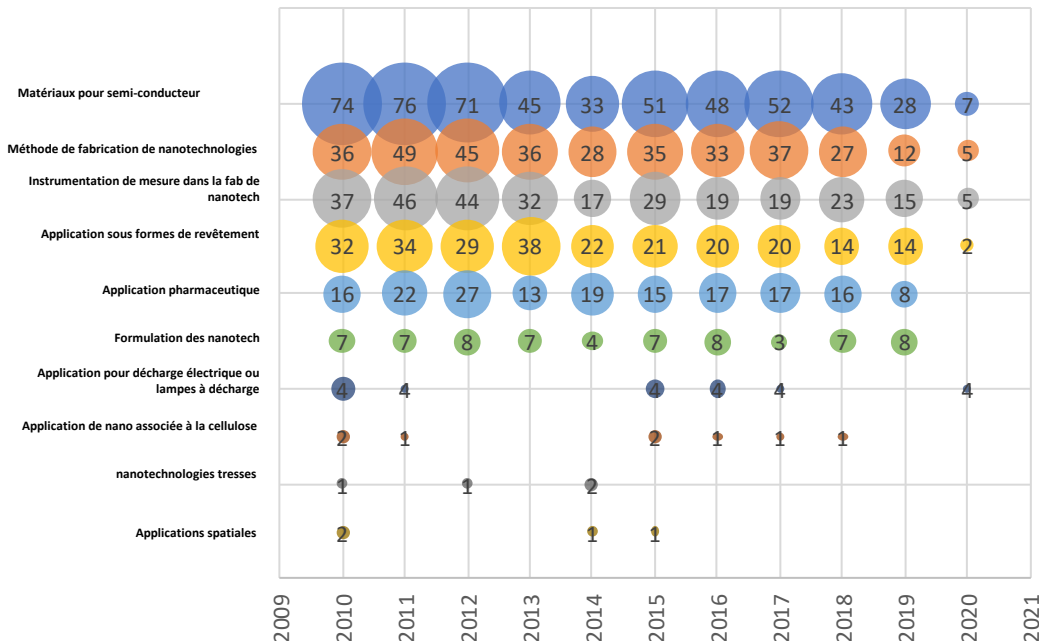


Figure 7. Dynamique des principaux domaines d'activités inventives en France dans les nanomatériaux. L'année 2019 et 2020 ne sont pas complètes du fait des 18 mois entre le dépôt prioritaire et la publication du brevet.
Source : Orbit, traitement auteur)

La répartition des forces en présence en fonction des domaines (figure 8 et le tableau dans la figure 9) montre la place prégnante du CNRS et du CEA dans les développements rattachés à ces activités. Cela se traduit par la position centrale dans le réseau de ces acteurs. Arkema est l'acteur industriel disposant d'une activité diversifiée sur le sujet faisant de lui un acteur clé sur le sujet. Solvay est le second industriel le plus diversifié avec cependant un portefeuille moins fourni. L'importance des acteurs de la chimie en France dans le domaine est donc clé. Les acteurs de l'électronique comme Thales, Aledia et plus relativement Nexdot constituent des acteurs ayant des portefeuilles importants à l'échelle française, mais relativement faible au niveau mondial. L'absence de STmicroelectronics (9 familles de brevets en France) parmi les principaux déposants français sur ce segment spécifique s'explique par des activités R&D produites également sur d'autres territoires (26 familles de brevets au total). La R&D de ST microelectronics en France est constante sur le sujet depuis 2015 avec au moins une famille de brevet déposé par année.

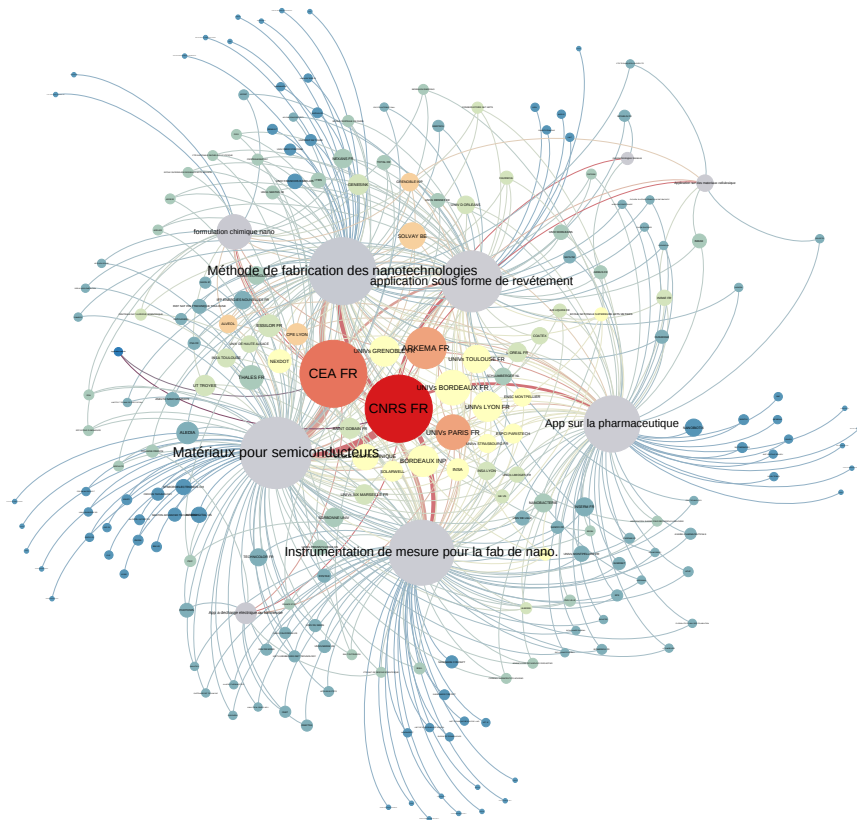


Figure 8. Graphe de positionnement des forces en présence issues d'une activité inventive en France dans le domaine des nanomatériaux. Un noeud est soit une thématique, soit un acteur. Les acteurs sont reliés aux thématiques indiquent leur positionnement. La taille des noeuds correspond au nombre de familles de brevets sur le domaine ; la couleur des noeuds du bleu au rouge représente le niveau de diversification d'un acteur.
Source : Orbit, traitement auteur)

	Méthode de fabrication pour la fab de nano.		Instru de mesure		App sous forme de revêtement		App pharma nano		Formulat' chimique elec. lum.		App à décharge cellulosique		App mat. App spatiale tressées		Nano	
	App electro des nanot	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.	de nano.
CEA	214	132	96	56	23	27	3	0	1	1	0					
CNRS	175	117	109	72	63	16	5	1	1	1	2					
ARKEMA	35	20	15	44	1	1	0	1	0	0	0					
UNIVs PARIS	22	15	15	8	10	3	2	0	0	0	1					
UNIVs LYON	10	13	10	5	13	1	0	0	0	0	0					
UNIVs BORDEAUX	22	9	18	21	6	1	0	0	0	0	0					
UNIVs GRENOBLE	19	10	10	6	5	0	0	1	0	0	0					
THALES	15	7	6	1	0	0	1	0	0	3	0					
ALEDIA	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
BORDEAUX INP	18	5	12	17	2	0	0	0	0	0	0					
ECOLE POLYTECH	11	10	10	2	1	0	0	0	0	0	0					
UNIVs TOULOUSE FR	11	10	5	7	8	1	0	0	0	0	0					
SOLVAY	7	8	4	11	2	4	0	1	0	0	0					
CPE LYON	5	7	3	1	4	1	0	0	0	0	0					
NEXDOT	13	5	3	3	2	0	0	0	0	0	0					
NANOBIOTIX	0	1	0	0	12	1	0	0	0	0	0					
SORBONNE UNIV	5	5	5	1	1	0	1	0	0	0	0					
TECHNICOLOR	10	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0					
IFPEN	4	9	1	0	0	1	0	0	0	0	0					
INSA	7	4	6	3	2	0	0	0	0	0	0					

Figure 9. Tableau de positionnement technologique des acteurs. Dans ce tableau est donné le nombre de familles de brevets par domaine technologique. Le CEA est titulaire de 214 familles de brevets sur les applications électroniques.
Source : Orbit, traitement auteur)

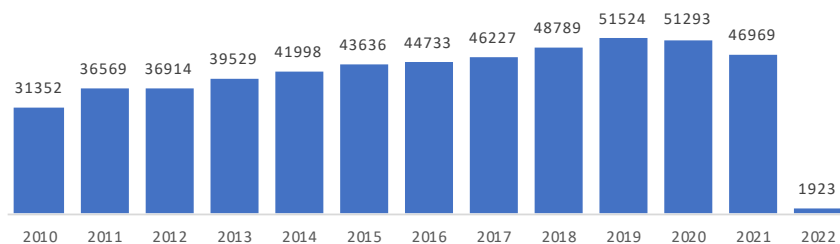
A retenir :

- Les activités de propriété intellectuelle sont principalement portées pas des acteurs de l'électronique et académique au niveau mondial
- Les grands producteurs de semi-conducteurs font partie des principaux déposants nous montrant l'aspect critique de ces développements (Samsung, TSMC, Globalfoundries)
- Le CEA et le CNRS font partie des premiers déposants mondiaux sur le sujet
- Les acteurs industriels français disposent de portefeuille de taille intermédiaire principalement dans le domaine de l'électronique (Thales, Aledia...) et la Chimie (Arkema, Solvay).
- Les activités françaises dans le domaine sont diversifiées et portées par de nombreux acteurs ayant des portefeuilles de taille relativement réduits sur les sujets.
- Le CEA, le CNRS et Arkema sont les acteurs les plus diversifiés au niveau français.

4.2 Une activité de recherche française dynamique et structurée d'un point de vue territorial

Dynamique mondiale et principaux acteurs présents dans les nanosciences

Les activités scientifiques dans les nanosciences ne suivent pas la dynamique mondiale dans les nanomatériaux. Cette dynamique intègre d'une part les enjeux dans les nanomatériaux, les nanotechnologies mais également les enjeux de santé publique rattachés à ces technologies. Dans les faits la dynamique mondiale sur le sujet est bel et bien restée croissante tout au long de la période. Sans la Chine qui constitue l'acteur produisant le plus d'activité scientifique sur le sujet, la dynamique croissante se maintient sans cette activité spécifique. Nous gardons donc la Chine dans le portefeuille ici.

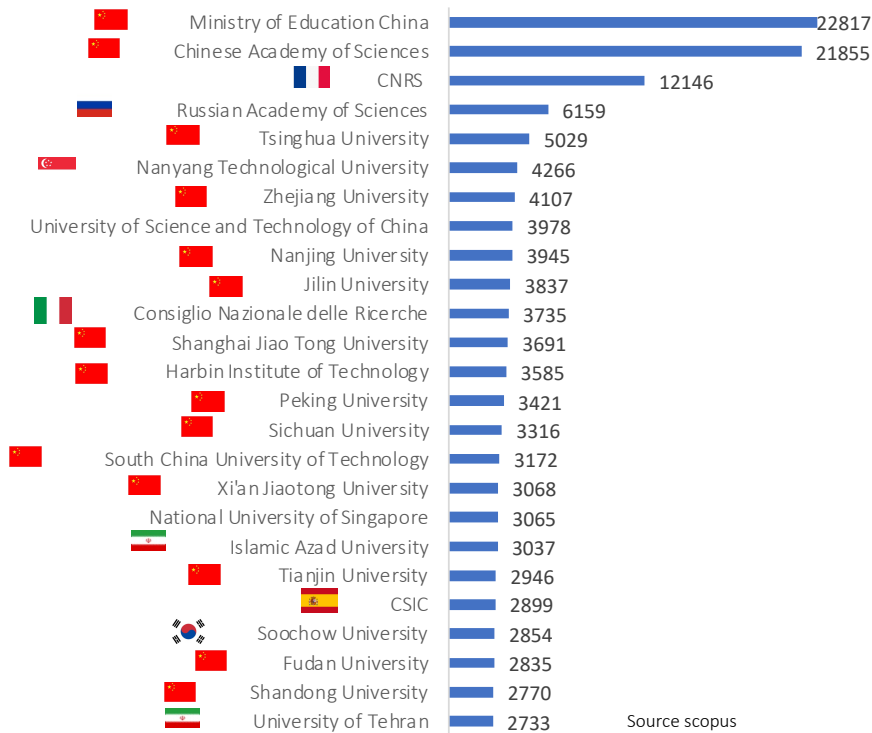


La Chine est le premier pays en termes d'activité scientifique dans les nanosciences. Son activité est plus de deux fois supérieure à celle des Etats-Unis (2ème). Afin de qualifier l'intérêt de la Chine sur le sujet, nous pouvons prendre en compte plusieurs facteurs. Le premier est que la Natural Science Foundation of China est remercié dans près de 1/3 des communications chinoises, nous arrivons à près de 50% dans les nanosciences indiquant l'importance stratégique de ces activités pour les autorités.

De plus l'internationalisation de la recherche dans le domaine est légèrement au-dessus de sa norme (25% contre 20% en général), cette recherche est principalement concentrée par des coopérations aux Etats-Unis. Cette dynamique portée au niveau mondial met plus en avant certains territoires comme l'Inde (3ème) ou l'Iran (4ème) à des niveaux qui ne sont pas les leurs habituellement.

Les principaux acteurs scientifiques positionnés dans les nanosciences sont donc principalement chinois. Ce positionnement n'est pas à marginaliser du fait d'un rayonnement des activités scientifiques (citations) et du degré d'internationalisation de leur recherche. Seul le CNRS ressort du côté français. Des pays comme la Russie, l'Iran, Singapour, l'Italie ressortent avec un ou plusieurs acteurs présents. Ces positions s'expliquent par des effets de concentration de leur recherche très forte parfois. Si les Etats Unis paraissent absents, ils ressortent en fait majoritairement entre la 26ème et la cinquantième place. On retrouvera des acteurs reconnus comme le MIT (2682), Georgia Tech (2297), Northwestern University (1757). Ce focus américain nous permet de voir l'influence de la Chine dans le domaine avec la présence en tant que collaborateur avec des acteurs américains de la Chinese Academy of Sciences (1962) ou le Ministry of Education of China (1 670).

Dynamique mondiale et principaux acteurs présents dans les nanosciences - suite



La France ne suit pas la dynamique scientifique mondiale sur le sujet. Elle a depuis 2010 maintenu son activité aux environs de 1500 communications scientifiques par an. L'activité a même eu tendance à décroître depuis 2018 comme le montre la figure 10.

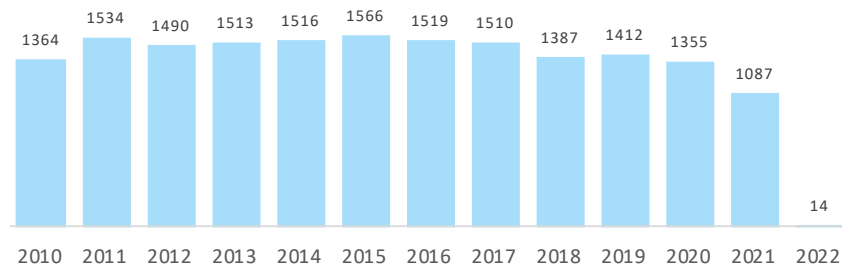


Figure 10. Dynamique mondiale des activités scientifiques dans les nanosciences.

Unité : nombre de communications scientifiques par année.

Source : Orbit, traitement auteurs

La carte dans la figure 11 montre la dynamique de coopération française. Cette dernière est principalement portée par des collaborations avec des acteurs européens, bien que certains des territoires ne soient pas majeurs sur le sujet (ex : Italie). Les effets de structuration rattachés aux appels à projets européens ou d'autres dispositifs de rapprochement scientifiques peuvent expliquer cette dynamique. Les États-Unis est le premier acteur de coopération de la France et la Chine le sixième, l'inverse n'est cependant pas vrai. La France est le septième territoire de coopération des États-Unis, cette position est en lien avec la position de la France dans le domaine. Concernant la Chine les coopérations se concentrent entre l'Asie et l'Amérique du Nord, dans ce contexte la France n'est que le douzième territoire

en termes de coopération.



Figure 11. Dynamique française des activités dans les nanosciences. Unité : En aplat le nombre de publications total des pays. La taille du cercle indique le nombre de publications en collaboration.

Source : Orbit, Khartis, traitement auteurs

4.3 Caractéristiques des activités scientifiques et des forces en présence

Les activités scientifiques françaises dans les nanosciences sont fortement internationalisées. La comparaison aux activités scientifiques en général de la France le montre (figure 12). Le taux de croissance pour les nanosciences dépasse même le taux général.

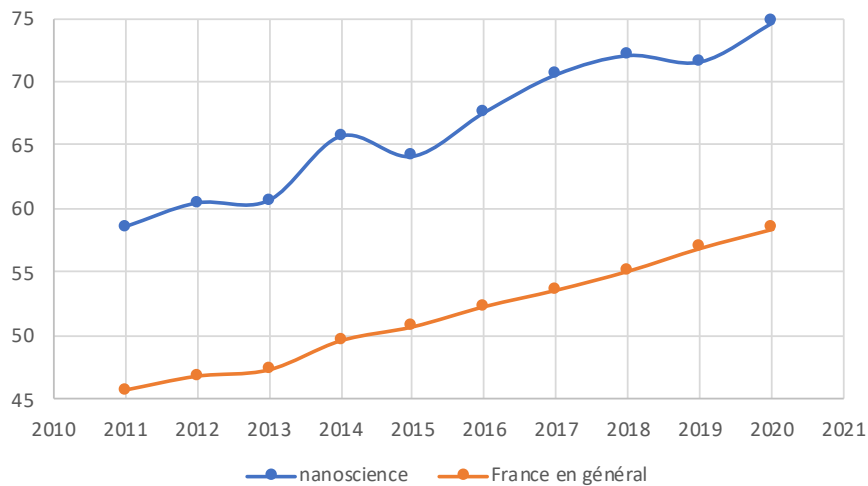


Figure 12. Dynamique d'internationalisation des activités dans les nanosciences vis-à-vis des dynamiques générales en France. Unité : % de communications donnant lieu à une coopération internationale par année

Source : Scopus, Khartis, traitement auteurs

Les caractéristiques rattachées au rayonnement de la recherche (FWCI, Top 10% Field-Weighted, top 10% by citescore Percentile) montrent une performance de la recherche française en ligne avec les activités scientifiques en général (figure 13).

Les États-Unis est le premier acteur de coopération de la France et la Chine le sixième,

l'inverse n'est cependant pas vrai. La France est le septième territoire de coopération des États-Unis, cette position est en lien avec la position de la France dans le domaine. Concernant la Chine les coopérations se concentrent entre l'Asie et l'Amérique du Nord, dans ce contexte la France n'est que le douzième territoire en termes de coopération.

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.

Le CiteScore est un indicateur permettant de qualifier l'impact des journaux scientifiques développé par Elsevier. Il vise à évaluer le rayonnement des journaux scientifique. Plus le journal aura un rayonnement important, plus la valeur de son CiteScore sera élevé. Le calcul est le suivant :

$$CS_y = \frac{\sum_{t-2}^t \text{citations}}{\sum_{t-2}^t \text{publications}} \quad (1)$$

	Portfeuille nanosciences	Portfeuille France
Collaboration international (%)	66,4	51,80%
Copublication science-industrie (%)	6,5	6,20%
Occurence	14879	1217719
FWCI	1,41	1,33
% in Top Citation Percentiles (top 10%, field-weighted)	15	13,3
% in Top Journal Percentiles (top 10% by CiteScore Percentile)	49,5	33
Citations par Publication	23,4	17,8

Figure 13. Statistiques comparatives pour mettre en contexte les nanosciences dans l'ensemble des publications françaises.

Source : Scopus, traitement auteurs

La recherche dans les nanosciences se diffuse principalement dans des journaux rattachés en chimie et sciences des matériaux (voir figure 14). Les applications de ces technologies étant extrêmement étendues, les communications sont également présentes dans les journaux dans :

- Le domaine de l'énergie.
- Les agrosociétés.
- La médecine humaine et vétérinaire.

Cette diversité thématique rattachée aux nanosciences développe donc des technologies générales, mais nécessite donc aussi d'aborder l'analyse de la thématique à des échelles plus désagrégées afin de piloter les activités de valorisation de ses activités

scientifiques à l'échelle des différents secteurs susceptibles de s'approprier ses enjeux.

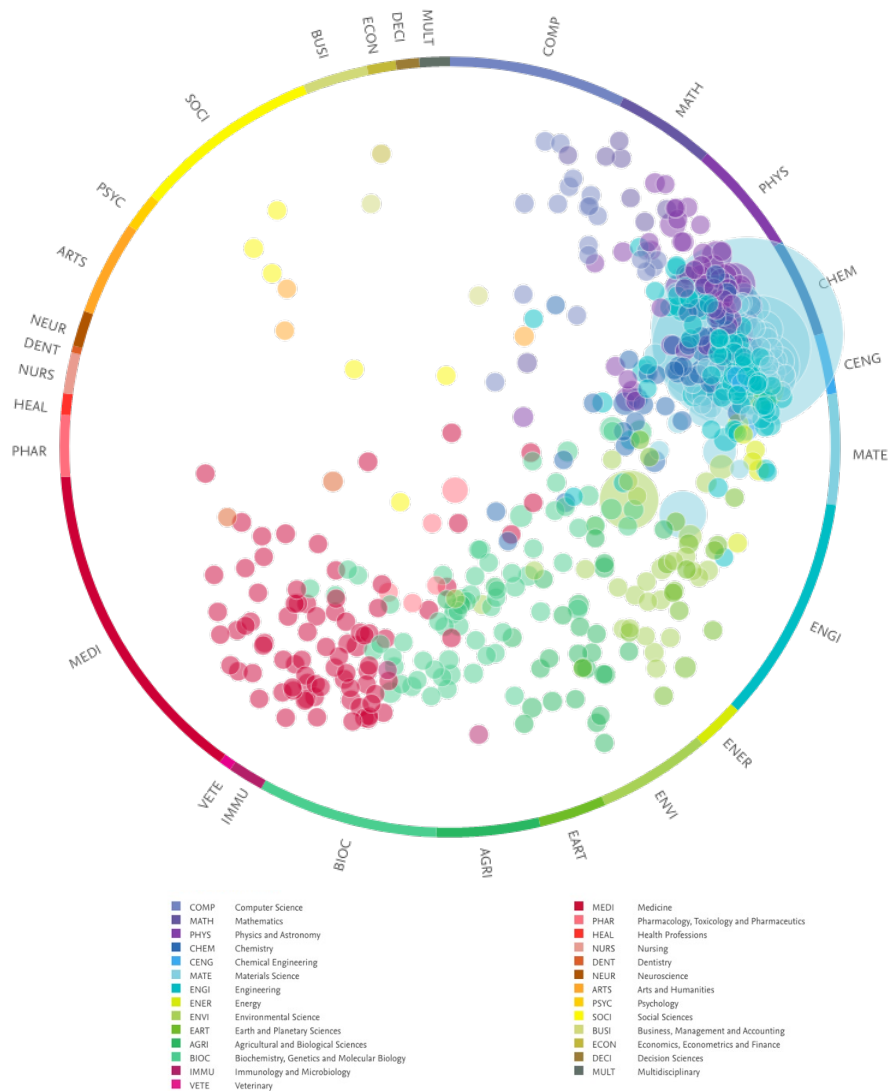


Figure 14. Répartition des thématiques dans les nanosciences dans les domaines de recherche. En périphérie se situent les différents domaines de la science tels qu'identifiés par Scopus. Les cercles à l'intérieur correspondent aux publications identifiées et à leur positionnement dans ces domaines. Ainsi, le plus gros cercle concerne donc une volumétrie importante de communications dans le domaine de la chimie.

Les activités scientifiques sont portées par une diversité de disciplines et une activité ayant un rayonnement relativement compétitif vis-à-vis de la recherche mondiale. En effet, le tableau de la figure 15 montre, à l'exception du sujet « silicon solar cells ; solar cells ; silicon » que l'impact pour les acteurs français est supérieur à la moyenne du domaine.

Les activités scientifiques dans le domaine sont diversifiées sur des enjeux en amont de la chaîne de valeur associée en chimie des matériaux. Les enjeux applicatifs se situent principalement dans le domaine de l'énergie et dans des applications électroniques.

Les nanosciences en France sont portées principalement par le CNRS et le CEA. La volumétrie du CNRS s'explique par l'intégration des communications rattachées à des unités mixtes de recherche avec les différentes universités du territoire. Les nanosciences se développent sur l'ensemble du territoire que ce soit auprès des grandes universités parisiennes (Univ. Paris Saclay ; Univ. De Grenoble ; Sorbonne Univ. ; Univ. PSL). Des territoires se distinguent

Topic Cluster	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact
Graphene; Carbon Nanotubes; Nanotubes	1680	1,33
Plasmons; Metamaterials; Surface Plasmon Resonance	912	1,34
Photocatalysis; Photocatalysts; Solar Cells	833	1,58
Secondary Batteries; Electric Batteries; Lithium Alloys	452	1,86
Nanoparticles; Metal Nanoparticles; Nanostructures	390	1,76
Catalysts; Zeolites; Hydrogenation	359	1,35
Nanocrystals; Semiconductor Quantum Dots; Zinc Sulfide	317	1,53
Biosensors; Electrodes; Voltammetry	315	1,65
Polypropylenes; Lactic Acid; Blending	306	1,27
Silicon Solar Cells; Solar Cells; Silicon	301	0,84
Cellulose ; Lignin; Cellulases	276	2,37
Organic Light Emitting Diodes (OLED); Solar Cells; Conjugated Polymers	255	1,44
Magnetic Anisotropy; Magnetization; Magnetism	243	1,65
Microstructure ; Steel; Austenite	216	1,25
Block Copolymers; Micelles; Polymers	212	1,42

Figure 15. Production scientifique et impact par thématique identifiée. Le Field Weighted Citation Impact (FWCI) montre si une thématique a un impact supérieur (>1) ou inférieur (<1) à la moyenne du domaine.

Source : Scopus/Scival, traitement auteurs

par des positionnements d'excellence sur le sujet comme l'université de Bordeaux, l'université de Strasbourg et l'université de Grenoble Alpes. Cette dernière s'ancre dans un territoire dynamique porté également par les activités du CEA-LETI.

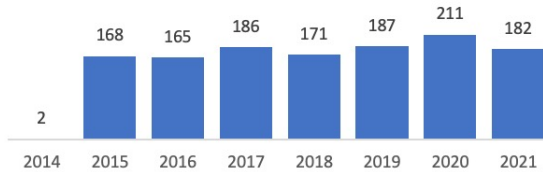
Institution	Occurrence	FWCI
CNRS	11776	1,42
Université Paris-Saclay	2038	1,43
CEA	1690	1,39
Université Grenoble Alpes	1454	1,61
Sorbonne Université	1416	1,58
Université PSL	1188	1,66
Université Claude Bernard Lyon 1	957	1,17
Université de Strasbourg	951	1,67
Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées	946	1,27
Université Paris-Sud	921	1,53
Université de Montpellier	899	1,4
Université de Paris	869	1,51
Université Paul Sabatier Toulouse III	764	1,26
Université de Lille	739	1,38
Université de Bordeaux	734	1,61
Université de Lyon	727	1,16
Aix-Marseille Université	703	1,7
Université de Lorraine	688	1,31
INRAE	524	1,63

Figure 16. Production scientifique et impact par acteur. Le FWCI montre si une thématique a un impact supérieur (>1) ou inférieur (<1) à la moyenne du domaine.

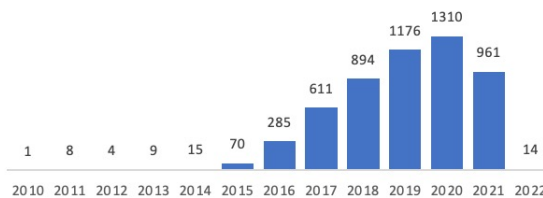
Source : Scopus/Scival, traitement auteurs

H2020 et ANR des dispositifs amplifiant les dynamiques existante de la recherche française dans les nanosciences

Le nombre de projets financés par le programme H2020 est relativement constant sur la période. La France est le quatrième pays ayant obtenu le plus de projets sur le sujet. La position de la Grande Bretagne est intéressante dans le contexte du Brexit pouvant interroger sur les potentiels projets sur lesquels la France pourrait se positionner. Les effets de ces projets ont donné lieu à une production scientifique en constante croissance qui devrait encore se faire voir en 2022.



a. Dynamique du nombre de projets H2020



b. Publications en lien avec un projet H2020

Pays	Nombre de publications
Royaume Uni	821
Allemagne	787
Espagne	567
France	558
Italie	531
Les Pays Bas	353
Suisse	304
Belgique	241
Autriche	198
Suède	186

c. Nombre de publications par pays

Les questions traitées dans le cadre des travaux en nanosciences se concentrent logiquement sur le cœur de développement « graphène, carbon nanotubes, nanotubes ». Les sujets portés s'inscrivent sur le développement de nanomatériaux mais nous pouvons trouver des thématiques applicatives comme :

- Secondary batteries, Electric batteries ; lithium alloys
- Nanocrystal ; Semiconductor, Quantum dots ; Zinc sulfide
- OLED, Solar cells, conjugated polymers

La France s'inscrit dans la dynamique européenne en termes d'activité scientifique. Sa dynamique scientifique est cependant dépassée par celle de l'Italie alors que la France participe à plus de projets européens. La France coopère principalement avec l'Espagne et l'Allemagne. Au-delà des acteurs européens avec lesquels les acteurs français coopèrent, des co-publications se font également avec les Etats Unis et la Chine s'expliquant par l'importance de ces territoires dans le domaine.

Les financements ANR sont quasiment aussi importants que le nombre de projets européens. L'année 2019 et 2020 n'étant pas identifiée dans notre portefeuille, nous noterons seulement l'année 2016 comme une année particulière en termes de projets obtenus dans le domaine.

Les dynamiques d'activités scientifiques sur les projets ANR sont supérieures à ceux des projets H2020 (figures 18a. et 18b.). Cet écart correspond également à un historique de projets plus importants expliquant les volumes supérieurs pour les ANR. Le volume de publications est souvent stagnant sur les dernières années à contrario des financements associés aux projets H2020. Les coopérations se concentrent ici principalement en Europe

Topic Cluster	Occurrence	FWCI
Graphene; Carbon Nanotubes; Nanotubes	1510	1,77
Photocatalysis; Photocatalysts; Solar Cells	789	2,69
Plasmons; Metamaterials; Surface Plasmon Resonance	679	1,93
Nanoparticles; Metal Nanoparticles; Nanostructures	422	1,92
Secondary Batteries; Electric Batteries; Lithium Alloys	399	2,37
Nanocrystals; Semiconductor Quantum Dots; Zinc Sulfide	312	1,93
Catalysts; Zeolites; Hydrogenation	201	1,42
Silicon Solar Cells; Solar Cells; Silicon	187	1,62
Organic Light Emitting Diodes (OLED); Solar Cells; Conjugated Polymers	186	1,94
Biosensors; Electrodes; Voltammetry	186	1,97
Polypropylenes; Lactic Acid; Blending	168	1,68
Cellulose ; Lignin; Cellulases	138	2,24
Fluorescence ; Probes; Supramolecular Chemistry	138	2,05
Magnetic Anisotropy; Magnetization; Magnetism	135	1,75
Block Copolymers; Micelles; Polymers	134	1,53

Figure 17. Principaux domaines financés dans le cadre de projets européens et le nombre de communications identifiées.

Source : Scopus, traitement auteurs

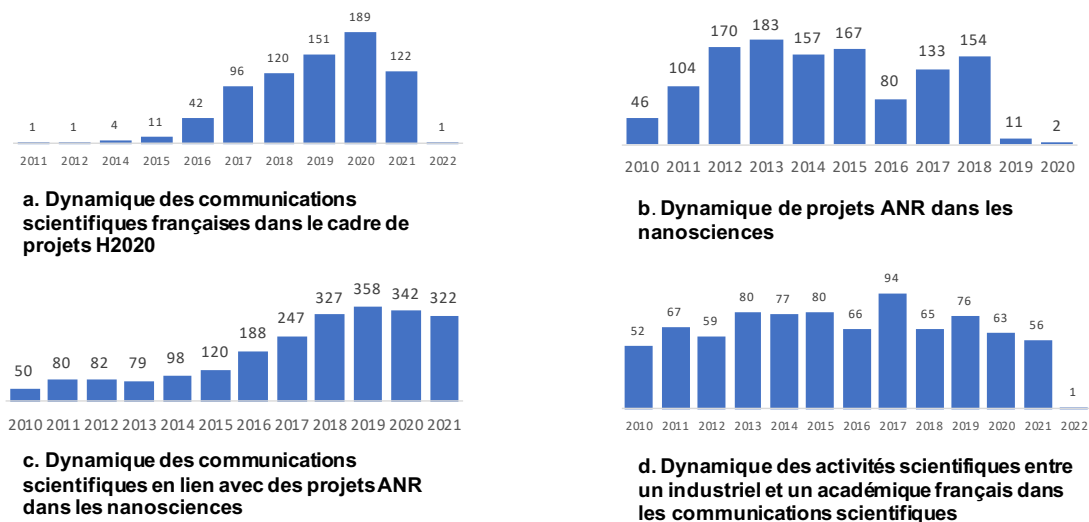


Figure 18. Dynamique de communications scientifiques dans le cadre de projets de recherche et dynamique des liens science-industrie.

Source : Scopus/Funding Institutional, traitement auteurs

confirmant l'importance de l'Espagne et de l'Allemagne comme acteur de coopérations dans le domaine tout comme sur les projets H2020.

La lecture des activités scientifiques ayant donné lieu à des financements montre deux éléments. Le premier est que les appels à projets ANR et H2020 ont contribué à renforcer les activités thématiques générales en France et pas d'en explorer de nouvelles. L'impact scientifique et l'internationalisation des activités scientifiques sont plus importants dans le cadre de ces financements avec un impact plus significatif du côté H2020.

Les relations science-industrie (figure 19) se structurent autour de grands opérateurs

nationaux et internationaux. Thales porte une grande partie de la réflexion sur ses enjeux avec près de quatre fois plus d'activité scientifique que le second le franco-belge Solvay. La majorité des acteurs déposants des brevets sont identifiés dans les activités scientifiques également. ST Microelectronics dispose d'une activité sur le territoire plus importante que l'intensité de ces dépôts de brevet sur le sujet, d'autres acteurs de l'électronique et de l'informatique internationale sont identifiés dans le cadre d'activités scientifiques avec la France comme IBM ou Samsung. Cette présence relative d'acteurs étrangers peu à minima montrer la capacité de notre recherche à intégrer des réseaux de recherche comprenant ces acteurs voire montre l'attractivité de nos acteurs.

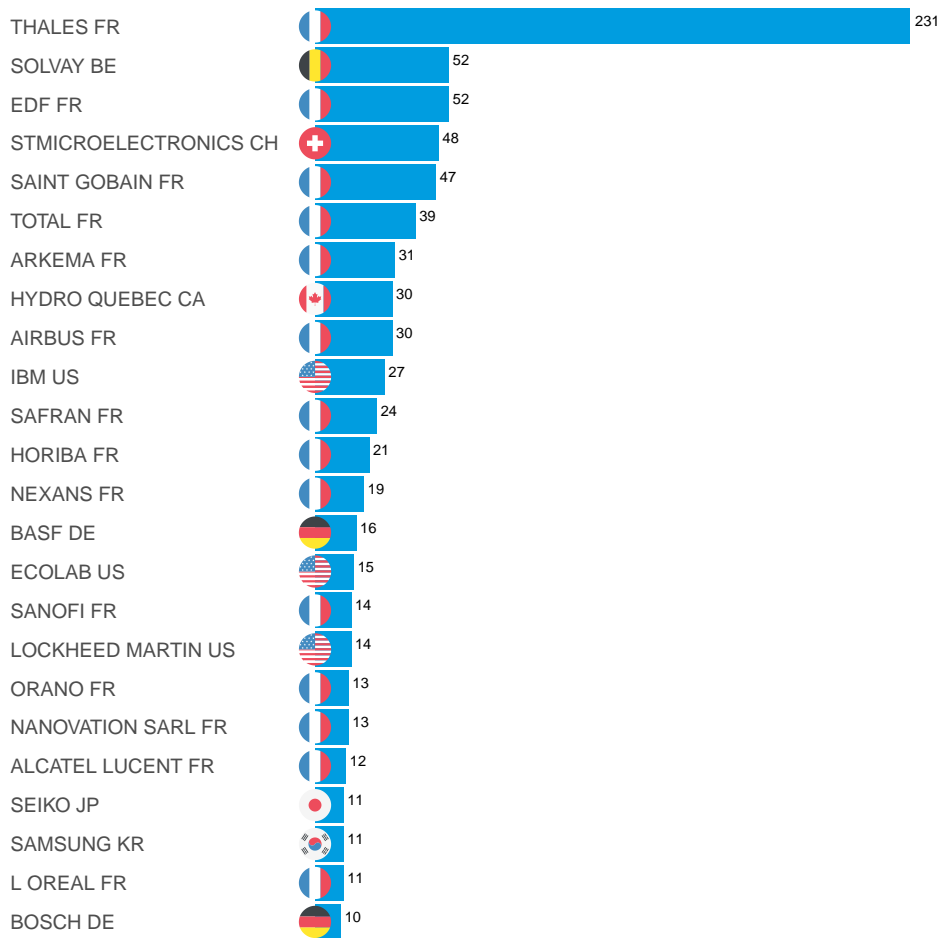


Figure 19. Principaux acteurs industriels présents dans des communications avec au moins une institution française. Nombre de communications scientifiques comprenant une adresse en France.

Source : Scopus, traitement auteurs

Les relations science industrie peuvent être regardées de différentes manières. La construction des deux réseaux (figures 20 et 21) nous permet de mettre en exergue plusieurs facteurs. Le premier facteur est la position pivot du CNRS dans ces enjeux liés à ses activités propres (unité propre de recherche), mais principalement à ses unités mixtes de recherche avec des universités. Les techniques de clustering permettent ainsi de mettre en exergue la position de pivot relationnel du CNRS (au centre et dans le cluster vert) entre des industriels appartenant à des secteurs diversifiés. Cette position peut être un vecteur d'animation de communauté d'industriels sur l'ensemble des sujets en nanosciences et appuyer à une coordination pertinente de recherche complémentaire porté au sein de différents sites de

recherche.

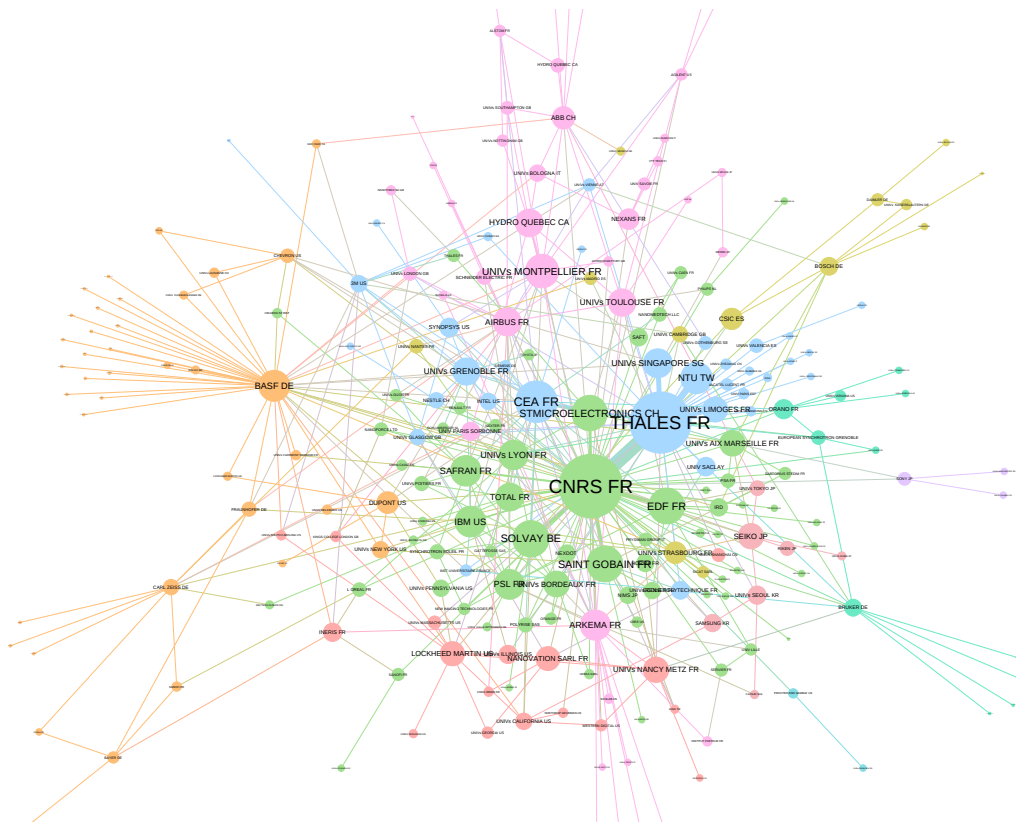


Figure 20. Réseau de coopération science industrie dans les nanosciences (CNRS compris).

La taille des nœuds est associée au nombre de communications de l'acteur ; le lien l'intensité entre les acteurs ; les couleurs des nœuds associés aux clusters d'appartenance des acteurs.

Source : Scopus, traitement auteurs

Dans ce second graphe dans lequel le CNRS est absent permet de mettre en lumière la structuration de la recherche avec le monde académique et le CEA. Cette lecture permet de comprendre la construction des relations avec des acteurs industriels internationaux en lien avec des acteurs de la recherche d'autre pays parfois, mais également le ressourcement que peuvent opérer les acteurs industriels français auprès d'une diversité ou non d'acteurs. L'analyse approfondie des positionnements de chaque acteur peut permettre ainsi de comprendre le degré d'ouverture des acteurs dans les coopérations et les potentiels de renforcements dont ils pourraient potentiellement bénéficier (intensification ou diversification de relation). Prenons ici deux exemples le cas de Thales montre l'importance de la diversité de ces relations structurant son activité sur différents territoires (Bordeaux, Paris Saclay, Aix Marseille, Limoges) quand Renault ou Nextdot vont être proches d'une seule université (Université de Nantes pour Renault et PSL pour Nextdot).

A retenir :

- La France dispose d'une activité inventive et scientifique constante sur la période. Elle se situe dans une situation intermédiaire au niveau mondial d'un point de vue volumétrique
- La recherche française est très fortement liée à certains territoires comme l'Auvergne Rhone Alpes, l'Île de France et la Nouvelle-Aquitaine.
- Thales concentre une part majeure des co-publications avec des acteurs acadé-

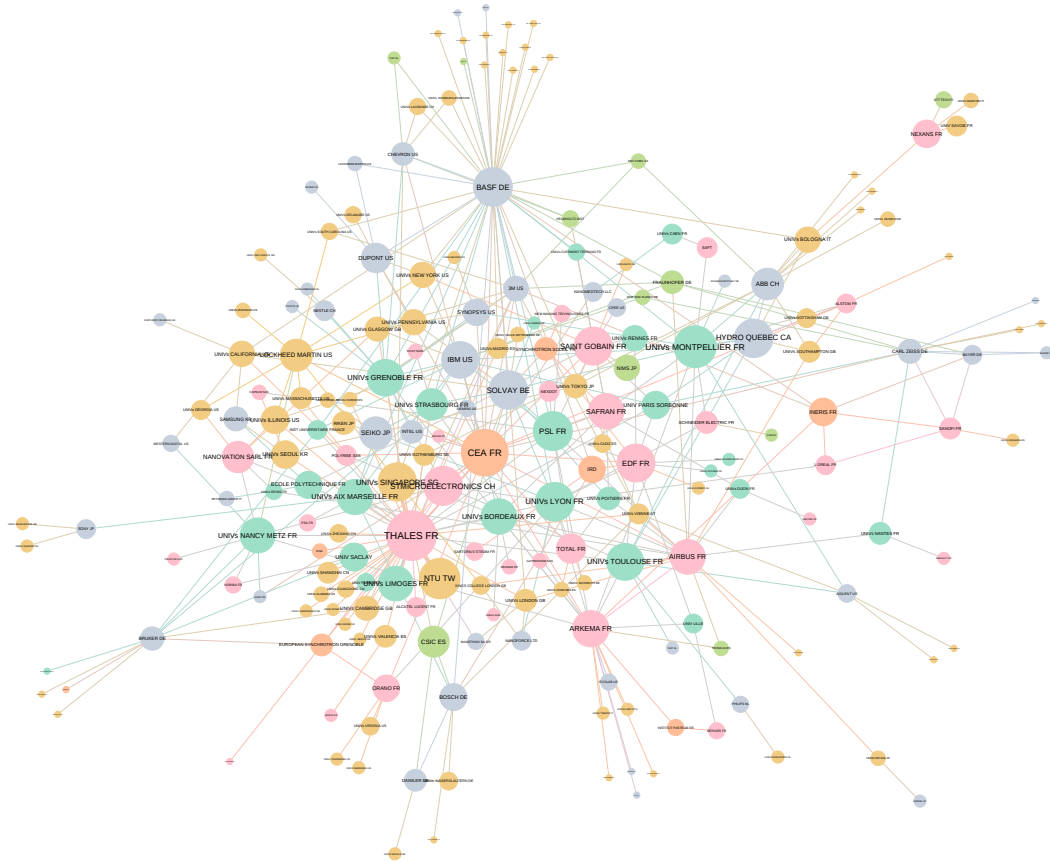


Figure 21. Réseau de coopération science industrie dans les nanosciences (CNRS non compris). La taille des nœuds est associée au nombre de communications de l'acteur ; le lien l'intensité entre les acteurs
Source : Scopus, traitement auteurs

miques français sur le sujet. Les acteurs de l'électronique et de la chimie sont les principaux co-publiant. L'attractivité de la recherche française est à la fois portée principalement par des entreprises françaises et quelques entreprises étrangères (Hydro Québec, Horiba, BASF...)

- Le CEA et le CNRS ont des positions structurantes sur l'environnement scientifique et technologique français.
- Les financements ANR et H2020 ont des effets d'amplification des thématiques scientifiques à impact au niveau français, mais ne favorise pas l'émergence de nouvelles thématiques. Les deux types de financements n'ont pas de différences majeures d'investissement au niveau thématique.

5 Focus sur les activités de deux établissements de recherche nationaux clé : LE CEA et le CNRS

Nous avons établi que le CEA et le CNRS disposent d'activité scientifique et technologique relativement complémentaire. Les rôles des deux institutions peuvent aussi être différenciés. Nous analyserons les enjeux d'impact de la valorisation des activités technologiques du CEA par le biais de l'analyse de son portefeuille de brevets. Nous analyserons ensuite les enjeux du CNRS en terme scientifique et technologique et la structuration de son activité et de ses coopérations.

5.1 Le CEA : un organisme concentré principalement dans la valorisation de ses activités technologiques dans les nanomatériaux pour des applications électroniques et énergétiques

Le CEA, présente une activité inventive très dynamique (figure 22) qui couvre un large panel d'inventions. Très présent dans le domaine des nanomatériaux, le CEA se place dans le top 15 des déposants de brevets au niveau mondial et domine le classement français (figure 6). Le CEA bénéficie d'une influence mondiale auprès de nombreux acteurs du domaine.

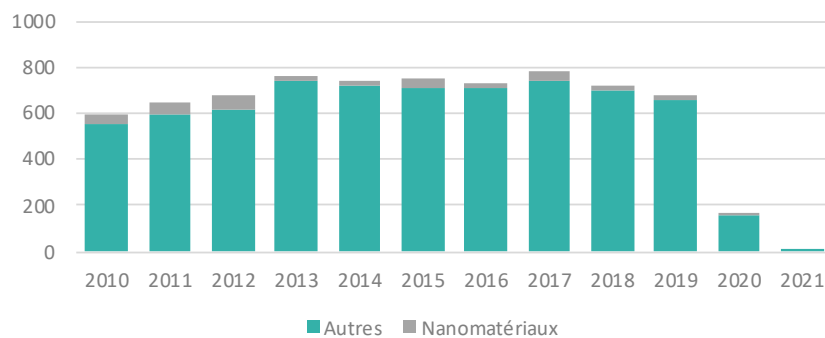


Figure 22. Dynamique des dépôts de brevets du CEA. Unité : Nombre de familles de brevets.
Source : Questel, traitement auteurs

Les nanomatériaux concernent 5% du portefeuille de brevets total du CEA sur les 10 dernières années, soit 347 familles de brevets. Les dépôts de brevets du CEA dans le domaine des nanomatériaux suivent une dynamique constante depuis 2013.

Le CEA a su tisser un réseau de collaborations dense dans le domaine des nanomatériaux avec un large panel d'acteurs issus de la recherche publique et de la sphère industrielle. Présence d'un écosystème grenoblois sur les nanomatériaux constitué d'entreprises spécialisées de la région ayant un lien marqué avec le CEA :

- ALEDIA, créée en 2010, a pour but d'industrialiser la technologie d'affichage WireLED développée par le CEA-Leti.
- NAWA TECHNOLOGIES, créée en 2013, co-fondée par Pascal Boulanger, chercheur chef d'équipe au CEA.
- ASELTA NANOGRAPHICS, créée en 2010, issue du CEA-Leti à Grenoble.
- APIX ANALYTICS, créée en 2014, issue de recherche collaborative entre le CEA et Caltech (Californie).

Principaux co-déposants de brevets du CEA dans le domaine des nanomatériaux

Unité : Nombre de familles de brevets en co-dépôts

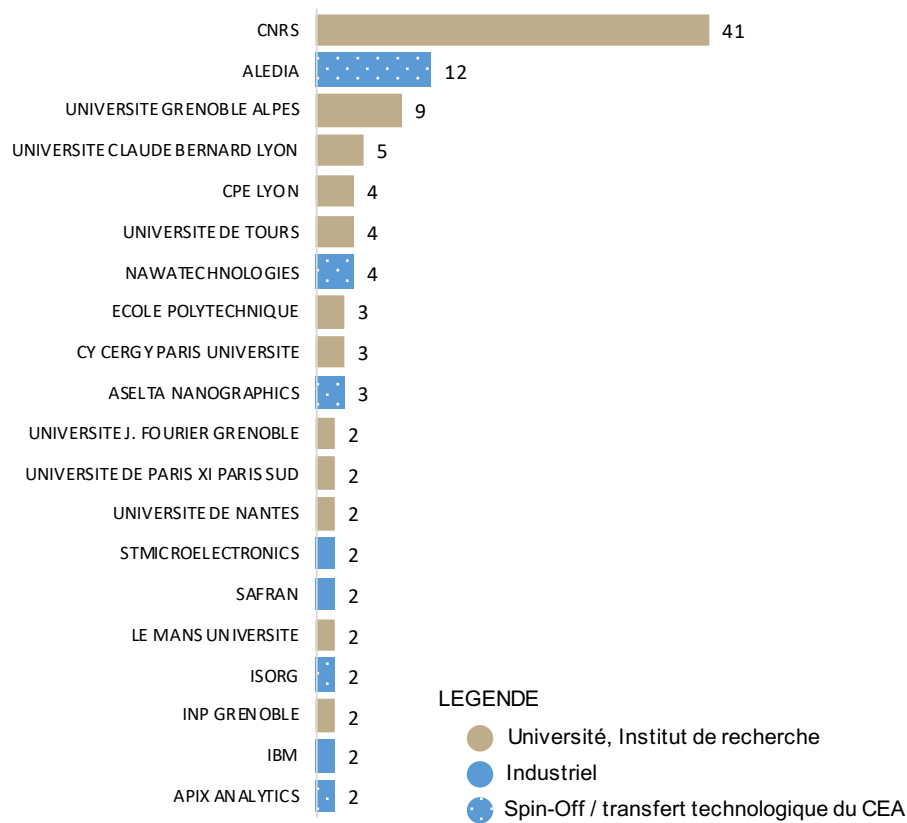


Figure 23. Principaux co-déposants de brevets du CEA dans le domaine des nanomatériaux. Unité : Nombre de familles de brevets en co-dépôts

Source : Questel, traitement auteurs

- ISORG, créée en 2010, spin off du CEA développé par le Liten (Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux).

Le Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux (Liten) est un institut de recherche du CEA consacré aux nouvelles technologies situé à Grenoble.

Cette valorisation forte de ses activités se retranscrit dans l'influence de ses activités inventives. Le graphe d'influence montre la position du portefeuille de brevets vis-à-vis des acteurs du domaine. Le graphe montre la position d'influence du CEA auprès d'une diversité d'acteurs comme le japonais TDK ou l'américain SIGRAY. Cette influence internationale se retrouve également dans les co-dépendances existantes avec de grands acteurs identifiés sur le domaine précédemment comme TSMC, Samsung Electronics, mais également des spins off issus du CEA comme Aledia. Les acteurs vis-à-vis desquels le CEA est dépendant sont relativement réduits avec des acteurs comme Sony ou XEROX. Cette position du CEA montre qu'il pourrait y avoir d'autres potentiels à valorisation de ses activités et qu'une lecture des brevets pourrait être pertinente.

Comme désigné, l'influence du CEA dans le domaine des nanomatériaux s'étend à l'échelle mondiale.

Parmi les principaux acteurs citant le portefeuille du CEA, la majorité a développé un lien

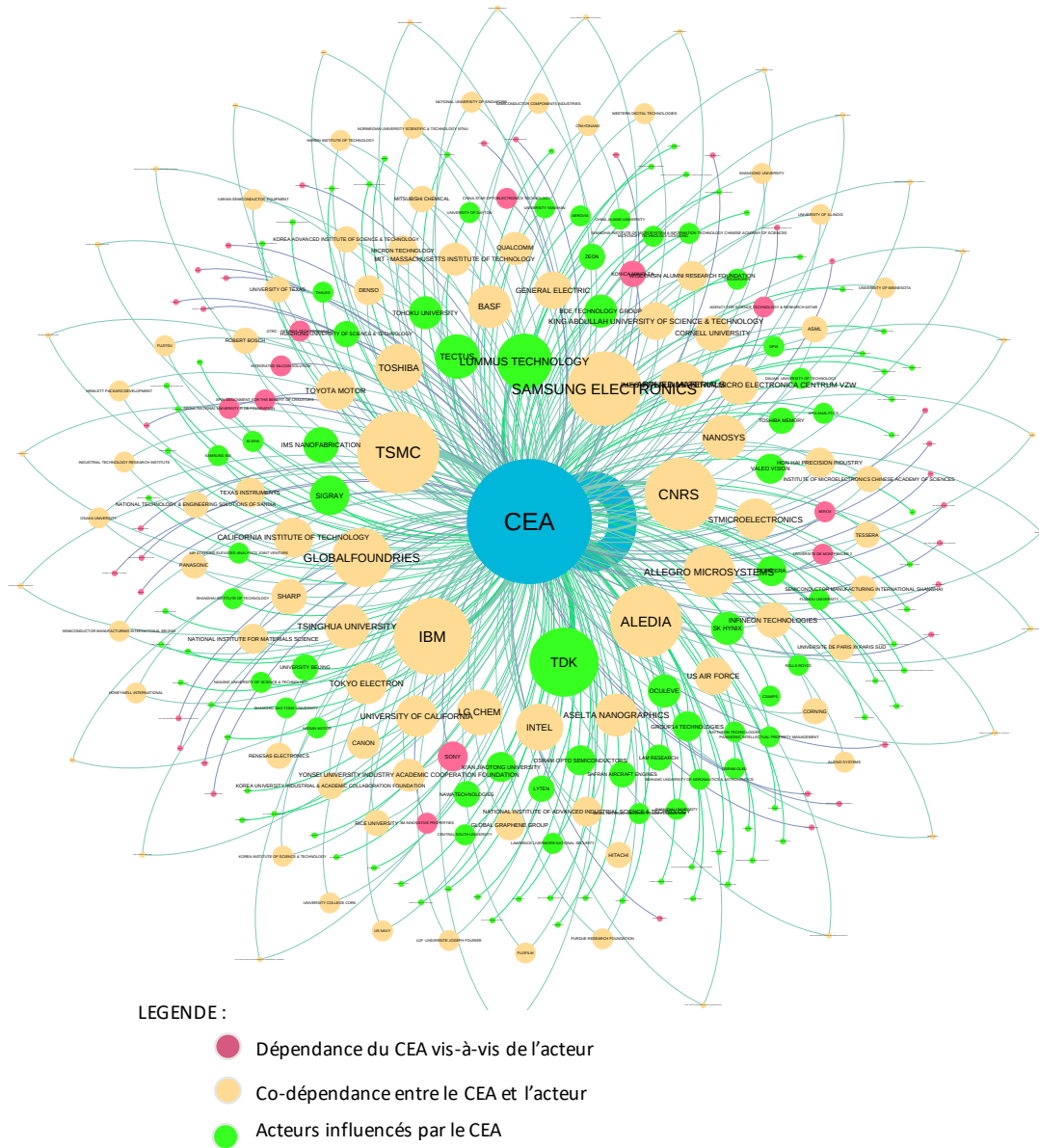


Figure 24. Graphe d'influence des activités technologique du CEA. En rouge les acteurs envers lesquels le CEA a un dépendance technologique, en orange les co-dépendances et en vert les acteurs influencés technologiquement par le CEA.
Source : Questel, traitement auteurs

partenarial.

Une exception existe cependant avec Le cas de Samsung. Le CEA a attaqué Samsung en 2004 pour violation de ses brevets dans le domaine sur ses écrans à cristaux liquides, en 2018 le CEA a assigné à nouveau l'acteur coréen.

Le graphe de la figure 29 présente le rayonnement des brevets les plus influents du CEA. L'idée de ce type de graphe est de pouvoir mettre en avant des types de valorisation potentiels des activités du CEA dans le domaine. La lecture permet d'observer si les acteurs influencés par le CEA ne sont dépendants que d'un brevet ou de plusieurs. De même, l'influence d'un brevet peut se concentrer autour d'un acteur unique ou d'une diversité d'acteurs permettant ainsi d'identifier les meilleurs moyens de valoriser ses actifs voir de pérenniser les activités inventives sur le sujet développé dans le cadre du brevet. L'idée est

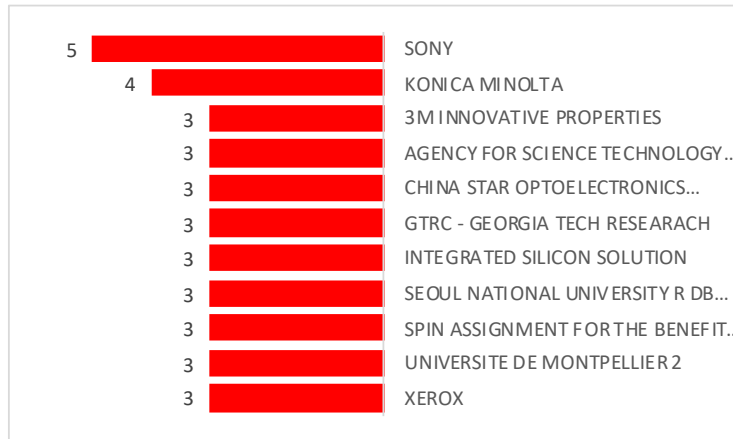


Figure 25. Acteurs influençant les activités du CEA dans les nanomatériaux Nombre de familles de brevets cités par le CEA.
Source : Questel, traitement auteurs

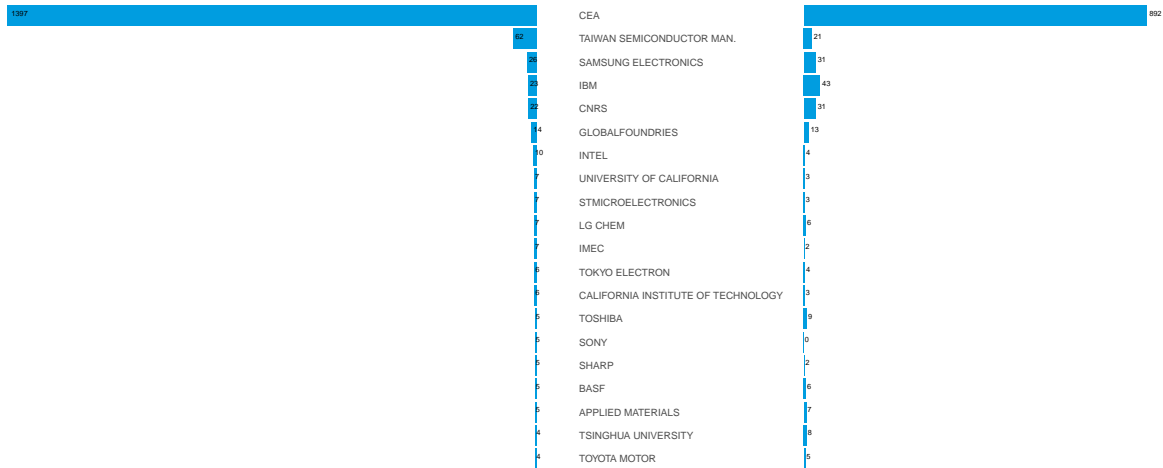


Figure 26. Influence et dépendance technologique des acteurs. Sur la gauche le nombre de familles de brevets cités par l'acteur, sur la droite le nombre de familles de brevets citants l'acteur.
Source : Questel, traitement auteurs

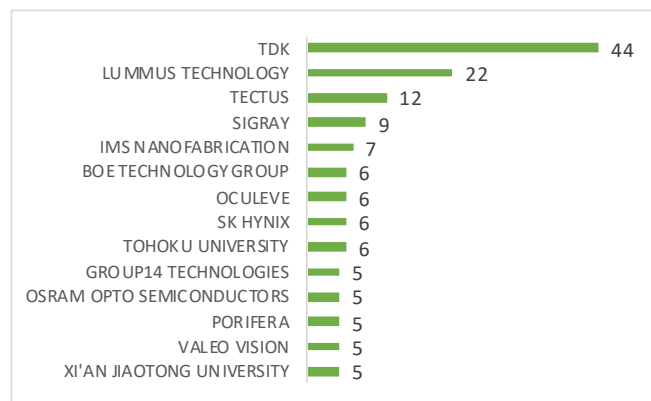


Figure 27. Acteurs influencés par les activités du CEA dans les nanomatériaux Nombre de familles de brevets cités par le CEA
Source : Questel, traitement auteurs

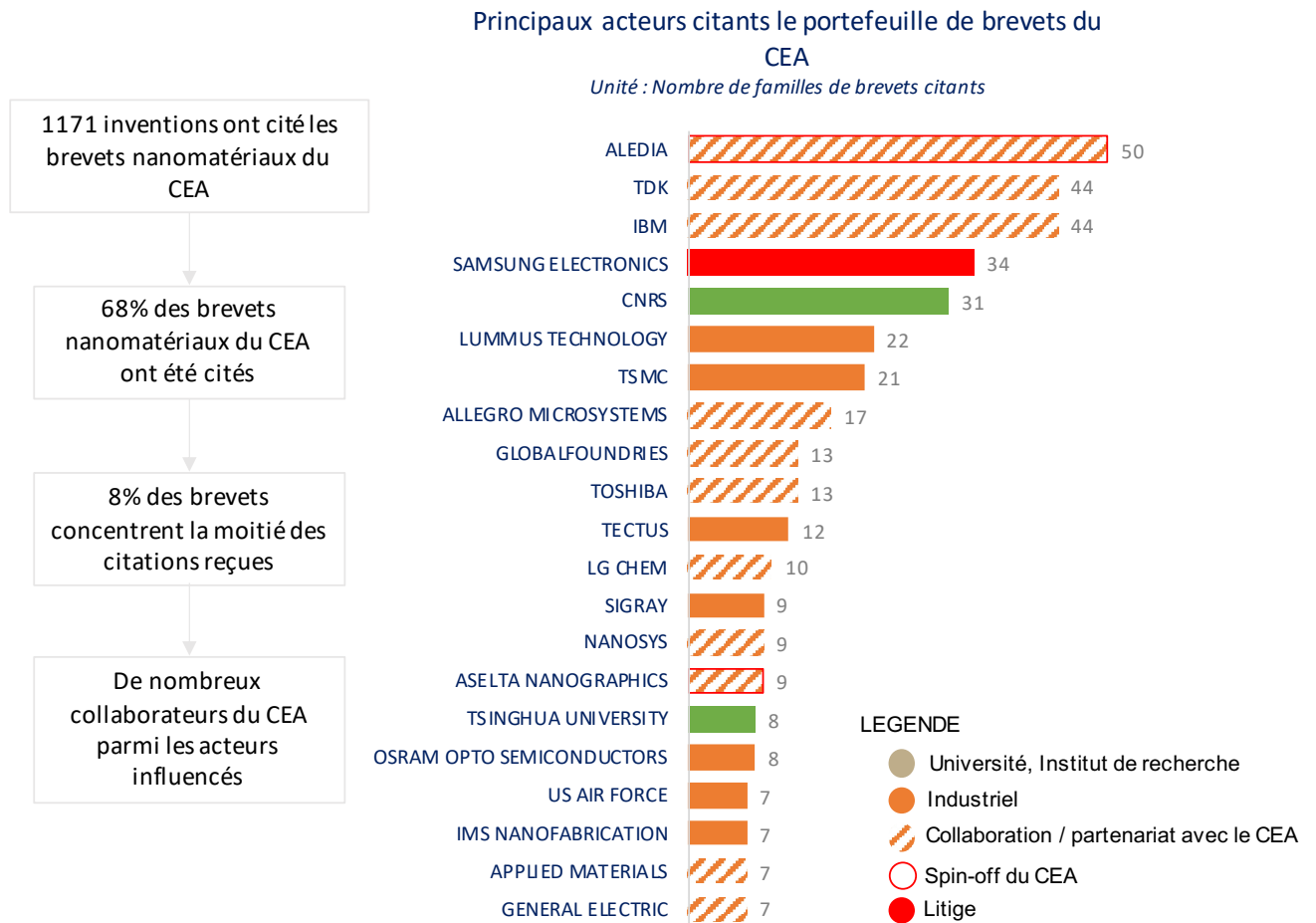


Figure 28. Principaux acteurs citants le portefeuille de brevets du CEA.

Source : Questel, traitement auteurs

de construire une politique de valorisation des brevets basée sur des outils de pilotage. Ces outils visent à favoriser par exemple la constitution de pool de brevets pertinent à réfléchir au meilleur moyen de licencier les technologies et même à voir comment renforcer sa politique de PI dans l'avenir. La lecture du graphe permet ainsi de voir l'importance d'un brevet du CEA pour TDK, mais seulement celui-ci. Au contraire de cet exemple, Aledia s'inspire d'une diversité de brevet pour développer ses activités inventives désormais indépendamment de ces coopérations avec le CEA. Le CEA a su développer une politique de propriété intellectuelle en lien avec les acteurs avec qui il a coopéré ou ses spin-offs lui conférant sur ce sujet une pertinence du portefeuille développée. Cette valorisation pourrait être encore mieux valoriser avec le renforcement de son portefeuille de brevets tout en s'intégrant aux enjeux européens de développement d'une nouvelle génération d'industrie de l'électronique.

5.2 CNRS : Un organisme pivot dans la valorisation des nanosciences et dans le développement de projets science-industrie

La stratégie scientifique et de dépôts de brevet du CNRS n'étaient pas liées au départ. Depuis 2014 il existe une relative stabilité entre les dépôts de brevets de l'institution et le nombre de communications qu'elle fait sur le sujet.

Près de 1/3 des dépôts de brevets se réalisent avec l'université Claude Bernard de Lyon, Université de Bordeaux/ Bordeaux INP, l'université de Grenoble, Sorbonne Université et l'université de Toulouse. Le CNRS a donc une place importante dans la constitution de

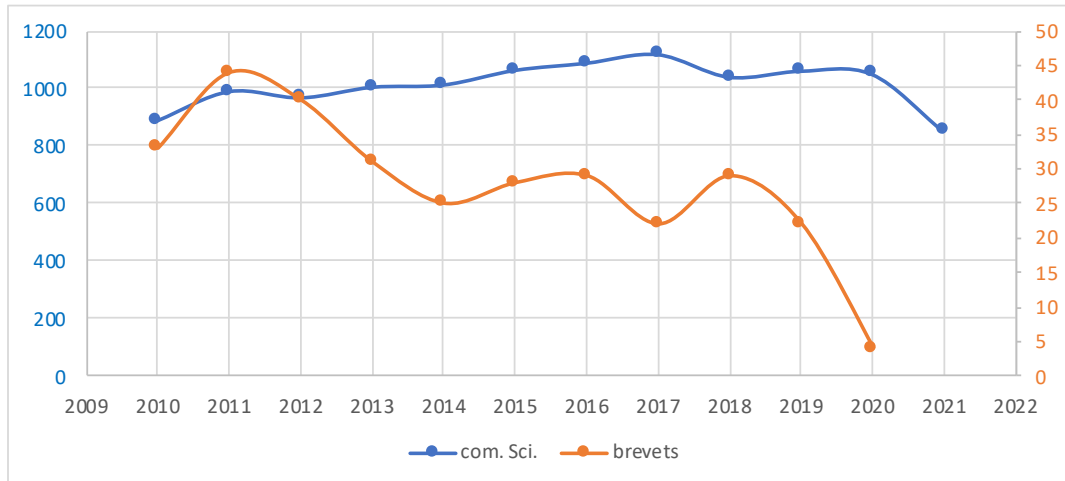


Figure 30. Dynamique des activités scientifiques et technologiques du CNRS dans les nanosciences et dans les nanomatériaux. Unité : Nombre de familles de brevets et communications scientifiques par année

Source : Questel, traitement auteurs

Type de communication scientifique	% du portefeuille	Occurrence	Citations	Citations par publication	FWCI
Collaboration internationale	60.6%	3602	89089	24,7	1,54
Collaboration nationale	38.3%	2279	46189	20,3	1,27
Collaboration institutionnelle	0.0%	0	0	0	-
Auteur unique	1.0%	62	923	14,9	0,87

Figure 31. Typologie des communications scientifiques. Unité : Nombre de familles de brevets et communications scientifiques par année.

Source : Questel, traitement auteurs

Métrique	% du portefeuille	Nombre de communications	Citations	Citations par Publication	FWCI
Relation science-industrie	5.9%	353	9829	27,8	1,69
Relation hors science industrie	94.1%	5590	126372	22,6	1,42

Figure 32. Caractérisation de la typologie des parties prenantes dans les activités scientifiques. Unité : Nombre de familles de brevets et communications scientifiques par année.

Source : Questel, traitement auteurs

- Secondary Batteries; Electric Batteries; Lithium Alloys
- Nanocrystals; Semiconductor Quantum Dots; Zinc Sulfide

Le CNRS dispose d'un rayonnement scientifique sur ces sujets importants également. Le cadre applicatif d'utilisation de ces technologies et le renforcement de la croissance des activités sont donc pertinents. Des sujets rattachés à des enjeux plus en amont sont également en croissance comme « cellulose, lignin, cellulases » qui s'attache également aux enjeux des technologies biosourcés dans lequel le CNRS a également un impact significatif au niveau mondial. Les enjeux rattachés à la chimie des matériaux sont d'importance vis-à-vis du tissu industriel français en capacité de s'approprier les développements de l'institution avec de grands acteurs comme Arkema ou Solvay et l'application des normes REACH qui nécessitent une réflexion sur la production des matériaux.

Topic Cluster	Nombre de communications	Field-Weighted Citation Impact
Graphene; Carbon Nanotubes; Nanotubes	708	1,52
Plasmons; Metamaterials; Surface Plasmon Resonance	451	1,38
Photocatalysis; Photocatalysts; Solar Cells	356	1,65
Secondary Batteries; Electric Batteries; Lithium Alloys	216	2,09
Nanocrystals; Semiconductor Quantum Dots; Zinc Sulfide	156	1,76
Biosensors; Electrodes; Voltammetry	147	1,53
Nanoparticles; Metal Nanoparticles; Nanostructures	147	1,87
Cellulose; Lignin; Cellulases	141	2,21
Catalysts; Zeolites; Hydrogenation	133	1,21
Silicon Solar Cells; Solar Cells; Silicon	114	0,86
Magnetic Anisotropy; Magnetization; Magnetism	109	2,08
Organic Light Emitting Diodes (OLED); Solar Cells; Conjugated Polymers	103	1,2
Block Copolymers; Micelles; Polymers	100	1,63
Polypropylenes; Lactic Acid; Blending	76	1,54
Microstructure; Steel; Austenite	68	1,12
Atomic Force Microscopy; Self Assembled Monolayers; Molecules	67	0,77
Phosphors; Luminescence; Light Emission	66	1,06
Semiconductor Quantum Dots; Semiconductor Quantum Wells; Gallium Arsenide	65	0,69
Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) ; Electrocatalysts; Electrolytic Reduction	64	1,9
Drops; Hydrophobicity; Contact Angle	60	1,39
Fluorescence; Probes; Supramolecular Chemistry	60	1,17
Nanomagnetics; Magnetic Fluids; Nanoparticles	60	1,41
Ferroelectricity; Dielectric Properties; Ferroelectric Materials	60	1,25
Ultrashort Pulses ; Laser Induced Breakdown Spectroscopy; Ultrafast Lasers	58	1,23

Figure 33. Les brevets les plus influents du CEA.

Source : Questel, traitement auteurs

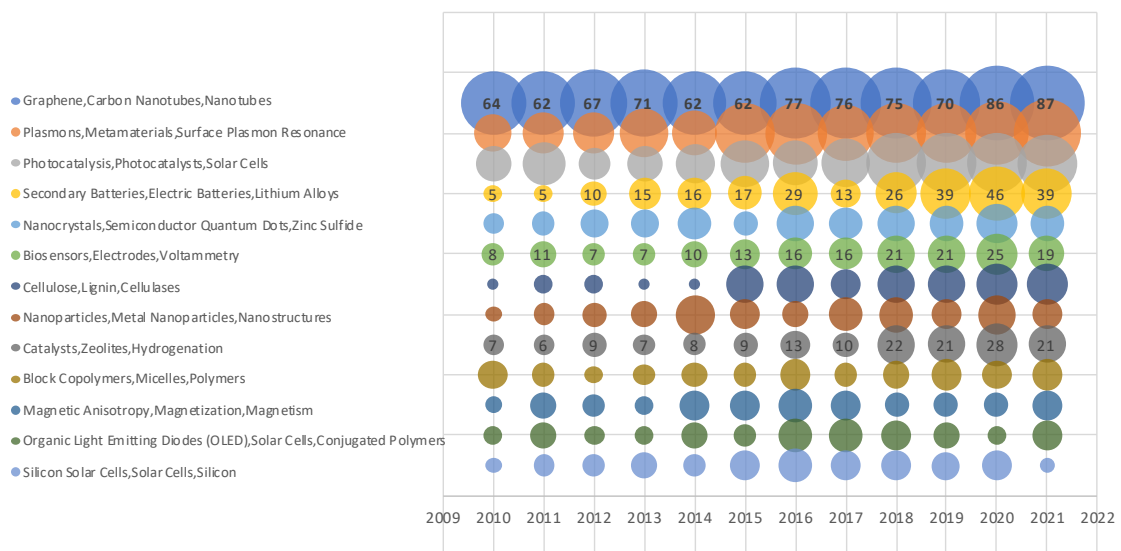


Figure 34. Dynamique des principales activités scientifiques dans le domaine des nanosciences pour le CNRS. Unité : Nombre de communications scientifiques par topic cluster, par année.

Source : Questel, traitement auteurs

A retenir :

- Le CEA a mis en œuvre une politique de valorisation de ces activités d'innovation

par le biais de création d'entreprises et de startups (Aledia, Nawa technologies, Isorg...)

- Les acteurs issus du CEA continue de s'appuyer sur les activités de l'organisme dans leurs activités de propriété intellectuelle propre
- L'activité de propriété intellectuelle du CEA rayonne au niveau international auprès d'une diversité de grands acteurs de l'électronique.
- Le CNRS dispose d'une activité structurée sur une diversité de territoire.
- L'activité du CNRS est plus diversifiée que celle du CEA et dispose de grandes coopérations sur les enjeux associés à la chimie des matériaux .
- Des thématiques applicatives sont en croissance dans les enjeux d'énergie (ex : batteries), et en chimie des matériaux (ex : cellulose)

6 Conclusions et recommandations

La première partie du rapport montre l'importance des enjeux dans les nanomatériaux dans divers secteurs d'activités comprenant principalement l'électronique et l'énergie, mais aussi plus marginalement la pharmaceutique et les transports. La France et plus généralement l'Europe se situent aujourd'hui dans une position intermédiaire sur ces enjeux. L'Asie et plus particulièrement la Chine dispose d'un positionnement très renforcé sur ces sujets et les Etats Unis disposent toujours de capacité d'importance.

La France se distingue par un positionnement fort de ces acteurs académiques (CEA, CNRS et grandes universités) et de quelques industriels comme Thales, Arkema, Solvay et Aledia. De nombreux acteurs de plus petite taille disposent également de portefeuille brevets notamment sur la partie électronique. L'ensemble de ces acteurs disposent de relations de proximité avec les acteurs académiques par le biais de co-publications, co-dépôts de brevets ou même en étant des spin-offs d'établissement de recherche (ex : Aledia et Nexdot)

La France dispose de capacités scientifiques importantes et une attractive dans les nanosciences. Les capacités technologiques et industrielles sont cependant en deçà de ses capacités scientifiques. Cette place de la recherche française est également à mettre en perspective vis-à-vis de la montée en puissance de certains territoires qui ont connu une croissance nette de leurs activités scientifiques et technologiques comme l'Inde ou la Chine. La Chine se distingue encore plus par une internationalisation de sa recherche et de son impact au niveau mondial. Le financement par les H2020 et les projets ANR ne contribuent seulement qu'à un renforcement des activités scientifiques et pas nécessairement à l'émergence de nouveaux enjeux à traiter.

Nous découperons nos propositions en deux parties l'une associée à des enjeux généraux, et la seconde à des filières :

6.1 Recommandations générales

- Le dynamisme de la recherche doit donc être pérennisé, voire renforcé afin de ne pas décrocher de la dynamique mondiale.
- Au-delà de s'appuyer sur ces axes forts, une réflexion est à mener sur les enjeux scientifiques dans les nanosciences contribuant à répondre à des enjeux associés à des technologies critiques. La complémentarité des financements européens et ANR est à penser en ce sens.
- Les relations science-industrie sont à maintenir avec les grands opérateurs (ex : Thales, Arkema, ST microelectronics) voir à renforcer, car elle contribue aux transferts des activités de la recherche publique et donne lieu à un rayonnement des communications plus importantes. Une réflexion est cependant à réaliser afin de coordonner les relations entre les différents établissements afin d'équilibrer les relations entre industriels et recherche publique.
- Une diversification des relations science industrie est à penser en intensifiant les relations avec des acteurs de taille plus réduite.
- Les spécificités territoriales de recherche ont des effets structurants et amplifient le rayonnement de la recherche française. Ils doivent être maintenus comme sur les territoires Grenoblois ou Néo-Aquitains.

6.2 Recommandations filières

Filière électronique :

L'électronique est une des filières d'importance en termes de transfert des enjeux dans les nanosciences et plus particulièrement dans les nanomatériaux. La composition des acteurs industriels dans ce domaine et les enjeux associés conduisent à penser à différents leviers d'action :

- L'émergence d'une nouvelle génération d'acteurs industriels dans l'électronique doit être favorisée par la mise en place de dispositif spécifique visant à :
- soutenir des leviers R&D en lien avec des actions territoriales comme la display valley qui vise au développement d'une filière de production d'écran dans la Région de Grenoble
- Impulser une politique de recherche & d'innovation en lien avec les sujets sur les semi-conducteurs afin d'améliorer l'attractivité française dans le cadre de l'European Chip act. Cet aspect est important dans la mesure où l'approvisionnement à long terme de semi-conducteurs impacte aujourd'hui l'ensemble des filières (électronique grand public, automobiles, énergie renouvelable..)
- La place du capital investissement est à interroger notamment le capital investissement public (ex : BPI) au vu des besoins de structuration de ces industries et des enjeux d'acquisition de compétences stratégiques par des acteurs étrangers (ex : photonis).
- La place des grands partenariats avec les industriels de l'électronique est à maintenir avec des acteurs comme Thales ou STmicroelectronics. Elle doit cependant être réfléchiée dans la coordination des relations afin de favoriser des relations plus équilibrées entre industriels et recherche publique.

Filière chimie :

La France peut s'appuyer sur des industriels de la chimie en capacité de produire des nanomatériaux de haute performance comme Arkema et Solvay.

- Les dispositifs de chaires industrielles ou de groupement d'intérêt scientifique ont contribué à la pérennité de ce lien fort qui existe sur diverses zones du territoire comme la Région Auvergne Rhone Alpes ou la Région Nouvelle-Aquitaine.
- Le développement de ces spécificités territoriales doit être maintenu voire renforcer tout en favorisant les rapprochements d'équipe à travers des projets thématiques.
- Le maintien des investissements voire son amplification peut contribuer à nourrir de nombreuses autres filières comme l'énergie (batteries, pile à combustible), l'électronique (matériaux fonctionnels pour l'IOT par exemple) et les transports (allègement des matériaux, revêtement...).

Autres filières :

Les autres filières ne disposent aujourd'hui pas de lien science industrie structuré en France et sont confrontées à des enjeux concurrentiels mondiaux d'importance. Une réflexion sur le pilotage des politiques de valorisation des technologies et de l'investissement doit être établie. Une réflexion sur les capacités des acteurs à atteindre le capital investissement privé pour leur développement est clé dans l'émergence d'acteurs.

Références

- Agarwala, Nitin et Rana Divyank Chaudhary (2019). « China's policy on science and technology : implications for the next industrial transition ». In : *India Quarterly* 75.2, p. 206-227 (cf. p. 9).
- Blondel, Vincent D, Jean-Loup Guillaume, Renaud Lambiotte et Etienne Lefebvre (2008). « Fast unfolding of communities in large networks ». In : *Journal of statistical mechanics : theory and experiment* 2008.10, P10008 (cf. p. 11).
- Cassiolato, José Eduardo et Virginia Vitorino (2009). *BRICS and development alternatives : innovation systems and policies*. T. 1. Anthem Press (cf. p. 9).
- Justo-Hanani, Ronit et Tamar Dayan (2015). « European risk governance of nanotechnology : Explaining the emerging regulatory policy ». In : *Research Policy* 44.8, p. 1527-1536 (cf. p. 3).
- Le Crenn, Patricia, Inès Dhuit et Marina Flamand (2021). « L'APPORT D'UNE DÉMARCHE D'INTELLIGENCE TECHNOLOGIQUE POUR L'IDENTIFICATION DE PARTENAIRES DE RECHERCHE ET D'INNOVATION. UNE ILLUSTRATION À PARTIR DE L'INSTITUT INRAE ». In : (cf. p. 3).
- Pol, Johannes van der, Jean-Paul Rameshkoumar, Sarah Teulière, Thierry Bazerque et al. (2021). *Extending A Regional Innovation Network : A Technology Intelligence Approach*. Rapp. tech. Groupe de Recherche en Economie Théorique et Appliquée (GREThA) (cf. p. 3).
- Romig Jr, AD, Arnold B Baker, Justine Johannes, Thomas Zipperian, Kees Eijkel, Bruce Kirchhoff, HS Mani, CNR Rao et Steven Walsh (2007). « An introduction to nanotechnology policy : Opportunities and constraints for emerging and established economies ». In : *Technological Forecasting and Social Change* 74.9, p. 1634-1642 (cf. p. 3).