



HAL
open science

Impact de la nature du financement de la recherche sur ses résultats : Rapport pour le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

Sarah Guillou, Basheer Kalash, Lionel Nesta, Michele Pezzoni, Evens Salies,
Marc-Antoine Faure

► To cite this version:

Sarah Guillou, Basheer Kalash, Lionel Nesta, Michele Pezzoni, Evens Salies, et al.. Impact de la nature du financement de la recherche sur ses résultats : Rapport pour le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. OFCE Sciences Po Paris. 2022, 66 p. hal-04254603

HAL Id: hal-04254603

<https://sciencespo.hal.science/hal-04254603>

Submitted on 23 Oct 2023

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Impact de la nature du financement de la recherche sur ses résultats

Sarah Guillou, Basheer Kalash, Lionel Nesta,
Michele Pezzoni, Evens Salies et Marc-Antoine Faure

Rapport pour le Ministère de l'Enseignement
Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

20 Janvier 2022

ofce

SciencesPo

*Nous remercions **Raouf Boucekkine**, Professeur en Sciences Economiques, coordonnateur du travail des équipes de recherche, ainsi que **Johanna Etner**, Professeure en Sciences Economiques, Chargée de mission du Secteur Sciences de l'Homme et de la Société au Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI).*

Evens Salies remercie Marion Maisonobe, chargée de recherche CNRS à l'UMR Géographie-cités de Paris, pour l'accès aux données de publication KNOWMAK de la Commission européenne et aux données de publication Clarivate Analytics - WoS détenues par l'Observatoire des sciences et des technologies (OST) du Canada; Yves Gingras, Directeur scientifique de l'OST canadien, ainsi que Jean-Pierre Robitaille, Coordonnateur de l'OST, pour la communication de ces données; enfin, Walter G. Park de l'American University pour la transmission de la toute dernière version de la base d'indices de protection de la propriété intellectuelle.

Les travaux de l'équipe ont été coordonnés par Sarah Guillou. Le premier chapitre et l'introduction ont été rédigés par Sarah Guillou avec l'aide de Marc-Antoine Faure et de Michele Pezzoni, le second chapitre par Evens Salies et le troisième chapitre par Basheer Kalash, Lionel Nesta et Michele Pezzoni.

Marc-Antoine Faure, étudiant en Master de Sciences Economiques

Sarah Guillou, économiste et directrice du département Innovation et Concurrence de l'OFCE, SciencesPo

Basheer Kalash, économiste à l'OFCE en post-doctorat

Lionel Nesta, professeur en Sciences Economiques à l'Université Nice Côte-d'Azur

Michel Pezzoni, maître de conférences en Sciences Economiques à l'Université Nice Côte-d'Azur

Evens Salies, économiste senior à l'OFCE, SciencesPo.

Introduction : de la recherche à l'innovation

Selon les statistiques de la banque mondiale, le nombre de chercheurs en R&D par million d'individus était de 1075 en 2000 et de 1411 en 2015. Cela porte le nombre de chercheurs dans le monde à près de 26 millions en 2015 contre 13 millions en 2000. Cette catégorie de travailleurs a donc doublé, cependant que la population mondiale passait de 6 milliards à 7,4 milliards.

La *main d'oeuvre technologique* croît avec le développement économique des pays et leur richesse, mais cela révèle aussi l'importance croissante de ces emplois dans l'économie contemporaine.¹

La croissance des chercheurs va de pair avec la pénétration des innovations technologiques dans notre quotidien. Chacun de nous est en effet témoin des rapidités des changements des usages professionnels de la technologie, des fonctionnalités de nos objets quotidiens, de notre usage des données via les plateformes et des changements de nos modes de consommation (des produits alimentaires, de l'énergie ou des rencontres) et demain sans doute de se déplacer, de se soigner, de voter et de s'éduquer. S'il existe de nombreuses différences entre les pays dans les modalités de la diffusion technologique et dans l'acceptation de toutes les dimensions du progrès technique, il n'est guère de gouvernement qui ne voit dans la diffusion technologique une source d'amélioration du bien-être de ses citoyens.

La plupart des gouvernements encouragent l'amélioration technologique et l'innovation par une politique de soutien direct ou indirecte à l'innovation et de financement de la recherche. L'importance de l'innovation et de la maîtrise technologique prend une place croissante dans la plupart des discours de politique économique dès qu'il s'agit de parler de compétitivité et de concurrence internationale. Par ailleurs, le futur du bien-être des populations, qu'il s'agisse de la santé ou de l'environnement, est envisagé grâce au progrès technologique.² La foi dans le progrès technique n'est pas — pour le moment — questionnée par les gouvernements au pouvoir.

Mais si cette foi est quasi-universelle, le mode d'intervention des gouvernements pour promouvoir le progrès technique est assez variable.

Cette intervention des pouvoirs publics dans le financement de l'innovation est assise sur le consensus théorique, aujourd'hui bien établi, de l'insuffisance des investissements de Recherche & développement (R&D) réalisés par les acteurs privés au regard du montant socialement optimal (pour la collectivité). Depuis les années 1950, un consensus a émergé selon lequel l'investissement effectué dans la recherche scientifique fondamentale est insuffisant au regard de son niveau optimal pour le bien-être social. En effet, la non-appropriation des fruits de la recherche scientifique diminue l'incitation privée à investir dans la recherche à la hauteur de ce qui serait socialement

1. L'augmentation par pays montre que cette croissance n'est plus l'apanage des anciennes puissances industrielles.

2. En matière d'environnement, il existe cependant un courant de plus en plus entendu qui s'inspire des thèses de la décroissance, mais il n'y a pas de gouvernements dans le monde qui se soit emparé de ces thèses pour sa conduite de politique économique.

optimal. Ainsi, [Nelson \(1959\)](#) rappelait que "Since Sputnik it has become almost trite to argue that we are not spending as much in basic scientific research as we should." Nelson note qu'une des solutions est d'admettre une organisation industrielle très monopolistique qui permet une plus grande appropriation des gains des investissements dans la recherche. Mais souhaite-t-on généraliser une telle organisation ? On observe aujourd'hui le développement de géants numériques dont les dépenses en R&D sont effectivement considérables et dont les pouvoirs de marché deviennent problématiques (voir par exemple [Khan 2017](#)). A l'heure où les pouvoirs de marché dans l'économie numérique se doublent de questions de sécurité sur la propriété des données, il n'est sans doute pas souhaitable de résoudre la question du sous-investissement par l'acceptation de rente de monopole infinie. La solution du financement par la collectivité s'impose donc, mais celle du montant du financement public optimal est toujours difficile à résoudre. En France, la question du "combien en plus" peut apparaître superfétatoire tant le gouvernement peine à maintenir le financement public de la recherche fondamentale (majoritairement d'origine publique) à un niveau constant en pourcentage du PIB.

Parmi les pays de l'OCDE, la France se caractérise cependant comme plus interventionniste, c'est-à-dire que le gouvernement est traditionnellement plus impliqué dans la conduite de la politique d'innovation. Ce constat, établi en 2014 par le rapport de l'OCDE sur la politique d'innovation conduite par la France, n'est pas démenti depuis.

Ainsi, selon le rapport de l'OCDE (2014) la part du financement public de la dépense intérieure de recherche et développement était de 50% en 2010 (CIR inclus), elle est entre 56 et 58% en 2018 selon nos calculs.³ Pour l'Allemagne et le Royaume-Uni, cette part avoisinait les 30% en 2010. Sans doute, le financement public de la R&D des industries de la défense y est pour quelque chose mais cette cause a diminué en importance (voir Chapitre 1 supra).

De plus, la part des financements structurels de la recherche publique reste élevée relativement aux autres pays, ce qui suggère une plus forte emprise institutionnelle sur la politique de recherche.⁴ Les dotations structurelles représentent 70% du financement de la dépense intérieure de R&D publique et c'est sans compter les subventions et le CIR qui, s'ils ne sont pas systématiquement accordés aux bénéficiaires réalisant la recherche privée, ne s'inscrivent pas non plus dans un processus d'appel et de concurrence. Plus le financement est attribué de manière concurrentielle — par appels à projet ou processus de sélection — plus il est fait appel à des experts externes, qui par définition échappent au contrôle politique. Cependant, et a contrario, l'importance des financements structurels, notamment à destination des Organismes publics de recherche, n'assure pas forcément le contrôle de l'orientation des fonds alors que les procédures d'appels thématiques permettent d'insuffler les orientations politiques de la politique d'innovation. La question de savoir si la modalité concurrentielle est plus ou moins interventionniste que la modalité via des dotations structurelles n'est donc pas tranchée comme on le verra dans le chapitre 1. A ce stade, il est important d'admettre que la part publique du financement ne dit pas tout de la maîtrise politique de l'innovation.

Un autre élément majeur de l'interventionnisme politique est sans doute la multiplicité des instances intervenant dans la conduite de la politique d'innovation. Non seulement les organismes publics de recherche sont nombreux (20 en France contre 4 en Allemagne), mais les institutions de financement ou d'orientation sont très nombreuses comme le montre le tableau 1.

Cette interventionnisme est sans doute une réponse à des performances décevantes de l'économie française en matière d'innovation.

3. On ajoute au 20 milliards du financement de la recherche publique, entre 8 à 10 milliards de financement de la recherche privée, selon le calcul des subventions et en incluant le crédit impôt recherche (CIR), que l'on rapporte au total de 52 milliards d'euros en 2018.

4. Voir OCDE (2014), page 137.

TABLE 1 – Une liste quasi exhaustive des institutions de la politique d’innovation

Institutions	Moyens annuels Millions €	Période
Organismes publics de recherche	7 000	1950-auj
Education supérieure	10 000	1950-auj
CIR - DGFip	6 500	1984-auj
CII (Crédit d’impôt innovation) - DGFip	120	2014-auj
Projets structurants R&D des pôles de compétitivité		2004-auj
Agence National de la Recherche	569	2005-auj
Fonds national pour la science ouverte	2,2	2018-auj
Haut conseil de la science et de la technologie	–	2010-auj
Agence de l’innov. de défense	1000	2018-auj
Instituts Carnot	62	2012-auj
SATT	–	2010-auj
Commissariat Général Plan	–	2019-auj
Commissariat Général à l’investissement - SGPI- PIA	3 300*	2010-auj
Agence de l’innovation industrielle (AII)	–	2005-2013
Banque Publique Investissement (BPI)	250	2013-auj
Fonds Innov.Industrie	250	2018-auj
Fonds de compétitivité des entreprises/FUI	nd	2007-2019
Jeune entreprises innovantes	150	2004-auj
Fonds de réindustrialisation et de modernisation	900*	2020-auj

Les OPR incluent le CNRS.

Quand les moyens annuels sont précisés (nd pour non disponible), il s’agit d’agence qui finance, sinon elle oriente. Les budgets sont indicatifs selon les données disponibles.

*signifie que le montant est budgété mais pas forcément dépensé.

BPI est née de la fusion d’OSEO, de la CDC-entreprises, de l’AII et du Fonds stratégique d’investissement.

Les moyens reportés correspondent aux montants des fonds d’investissement.

En ce qui concerne l'investissement dans la R&D, selon l'état de l'enseignement supérieur et de la recherche en France (MESRI 2020), la France est cinquième derrière la Corée du Sud, le Japon, l'Allemagne et les Etats-Unis avec une dépense atteignant 2,2% du PIB, devançant le Royaume-Uni (à 1,6%).⁵ La dépense intérieure de recherche du secteur public s'élève à 17,6 milliards € en 2017 — reposant majoritairement sur les organismes de recherche (53 %) mais aussi fortement sur les établissements d'enseignement supérieur (42 %) — soit 35% de la dépense intérieure totale de R&D en France qui s'élève à 52 milliards d'euros en 2018.

Cette performance de R&D est très liée à la structure de la spécialisation de la production. Certains secteurs sont en effet par nature plus intensifs en R&D que d'autres. Le tissu productif français se caractérise par une forte intensité en R&D non seulement dans le secteur manufacturier mais aussi dans les services. Mais le poids des secteurs intensifs en R&D dans le PIB est plus faible en France. Cependant, et sans doute parce que le nombre d'investisseurs est trop faible, les performances en matière d'innovation de l'économie française ne la placent pas parmi les économies de tête.

En matière d'Innovation, l'économie française n'apparaît pas dans les classements internationaux comme une économie particulièrement innovante. Certes, dans l'édition 2020 du tableau de bord de l'innovation européenne, la France se trouve dans le groupe des "innovateurs notables", qui est le deuxième des 4 groupes par intensité de performance dans l'innovation.⁶ Par ailleurs, son index d'innovation en 2019 a légèrement augmenté par rapport à 2012. Mais l'économie française ne se singularise pas dans une dimension particulière, qu'il s'agisse de l'attractivité du système de recherche (où le Luxembourg domine), l'innovation des PME (où le Portugal domine), les liens et les collaborations en matière d'innovation (où l'Autriche domine) ou aucune autre des dimensions qui définissent l'indicateur.

En ce qui concerne l'intensité d'innovation mesurée par le nombre d'entreprises qui innovent, le tissu productif français est en retrait relativement aux autres puissances technologiques. L'innovation — au sens du Manuel d'Oslo — se mesure au niveau des entreprises et l'information sur l'intensité d'innovation est pour le moment déclarative.⁷ Ainsi, c'est sur la base de ce manuel qu'est construite l'enquête communautaire sur l'innovation déployée dans l'Union européenne. Les résultats de cette enquête permettent d'obtenir un pourcentage d'entreprises innovantes par pays. On observe dans la Figure 1 le pourcentage pour la France et les 4 premiers pays européens en 2018 pour différents regroupements de secteurs d'activités. Le rang de la France est loin derrière les 5 premiers et cela quel que soit le secteur d'activité. En 2018, le pourcentage d'entreprises innovantes en France est de 50% sur l'ensemble des secteurs marchands alors qu'il est de 70% en Allemagne. La France n'occupe que le douzième rang au sein de l'Union européenne et est en-dessous de la moyenne de la zone euro. Ce résultat n'est pas lié à sa structure de spécialisation, car son rang n'est pas plus glorieux dans les services, le Luxembourg la recalant à la treizième place avec un pourcentage de 48%.

Et pourtant, la politique économique n'est pas exempte d'intervention pour promouvoir l'innovation. Selon le recensement des aides à l'innovation réalisé par Harfi & Lallement (2016), la somme totale approche les 10 milliards d'euros. Sont inclus dans ces 10 milliards, les 6,5 milliards du Crédit impôt recherche. En 15 ans, les aides directes ont été divisées par deux. Le rapport met aussi en évidence la profusion des dispositifs se montant, en nombre, à plus de soixante.

5. La France est sixième si on inclut la Chine.

6. Les 3 autres groupes sont : Les champions de l'innovation, les innovateurs modérés et les innovateurs modestes.

7. Le manuel d'Oslo (OCDE, 1992, 2010) établit un cadre pour la mesure des activités scientifiques et technologiques. Il définit l'innovation technologique de produits, comme la mise au point d'un produit offrant au consommateur des services objectivement nouveaux et, l'innovation technologique de procédés, comme la mise au point de méthodes de production ou de distribution nouvelles ou notablement améliorées.

FIGURE 1 – Pourcentage d’entreprises innovantes par secteur et pays



Source : CIS 2018, calcul des auteurs.

Note : Chaque graphe retient les 4 économies les plus innovantes dans le secteur et la France. Les *Services* représentent l’ensemble des services marchands, les *Services J* n’incluent que les services du secteur "Information et communication".

En ce qui concerne les brevets, autre indicateur de l’activité d’innovation d’une économie, en 2019, la France a déposé 10 163 demandes de brevets auprès de l’office européen des brevets (EPO). C’est bien moins que ses partenaires commerciaux et avec lesquels elle est en concurrence technologique. Mais, si on rapporte le nombre de demande de brevets au nombre de chercheurs, le rang mondial de la France (5^{ème} en terme de richesse) est maintenu. Parmi les 10 premiers domaines technologiques en nombre de demandes, elle est mieux classée si on considère le domaine technologique des transports, celui de la pharmacie, des biotechnologies, et les machines spécialisées autres que celles des TIC (4^{ème}). Sur les 10 163 demandes de brevets déposées en 2019, 999 — soit presque 1/10 — l’ont été dans le domaine technologique des transports. Le deuxième domaine technologique qui suscite le plus de demande est le domaine "machines et appareil électriques, énergie" avec 658 demandes.

L’avantage comparatif technologique de la France en 2019 relativement aux 10 autres pays premiers déposants se trouve dans les transports puis dans les biotechnologies et la chimie fine. L’avantage technologique — A_{θ}^{FR} — est mesuré comme le ratio de la part des brevets de la France dans la technologie θ relativement à l’ensemble des brevets français des 10 autres technologies, $\frac{D_{\theta}^{FR}}{D^{FR}}$, rapporté à la part des brevets des 10 premiers déposants dans la technologie θ relativement à l’ensemble des brevets des 10 premiers déposants.

$$A_{\theta}^{FR} = \frac{D_{\theta}^{FR}}{D^{FR}} / \frac{D_{\theta}^{10}}{D^{10}}$$

Dans le classement des 100 premiers déposants à l’EPO, le premier déposant français est 30^{ème} et il s’agit du Commissariat à l’énergie atomique et aux énergies alternatives, le deuxième déposant est Valeo (aéronautique), qui est 37^{ème} ; Safran (48^{ème}) et Thales (58^{ème}) suivent et le cinquième est l’institut national de la santé et de la recherche médicale (83^{ème}). Deux institutions publiques (CEA et INSERM) sont donc parmi les 5 premiers déposants français à l’EPO.

Les brevets ne sont pas la seule mesure des résultats de la recherche. Certains domaines de recherche sont plus intenses en dépôt de brevets que d’autres. Malgré ces limites, les brevets

TABLE 2 – Nombre de brevets déposés à l’Office européen des brevets par pays

Rang	Pays		2019	2018	Variation
1	US	Etats-Unis	46 201	43 789	5,5%
2	DE	Allemagne	26 805	26 663	0,5%
3	JP	Japon	22 066	22 591	-2,3%
4	CN	République populaire de Chine	12 247	9 480	29,2%
5	FR	France	10 163	10 468	-2,9%
6	KR	Corée du Sud	8 287	7 263	14,1%
7	CH	Suisse	8 249	7 961	3,6%
8	NL	Pays-Bas	6 954	7 142	-2,6%
9	GB	Royaume-Uni	6 156	5 761	6,9%
10	IT	Italie	4 456	4 404	1,2%

Source : EPO, 2020

sont indéniablement une des mesures des résultats de l’activité de recherche et développement.

En matière de publications scientifiques, selon le rapport de l’observatoire des sciences et techniques (OST) (OST 2021, Coulhon & Sachwald 2021), la France était classée 9^{ème} dans le classement mondial des pays par montant de publications scientifiques. Elle était précédée par la Corée du Sud et l’Italie et suivie par le Canada. Ces publications représentent 2,8% des publications mondiales. En matière d’impact, l’OST calcule un indice moyen du nombre de citations associées aux publications normalisé par les tendances annuelles et par disciplines d’évolution des citations. L’indice d’impact de la France est comparable à celui de l’Allemagne, de l’Italie, de l’Espagne et de la Chine. Les données sur les publications établissent une concentration des efforts de recherche dans les domaines suivants : Immunité et infection, mathématiques, sciences de l’univers, et étude du passé humain.

Il apparaît donc un décalage entre le niveau de richesse de la France et ses performances en matière d’innovation et de publications. De plus, il semble que les brevets ne reflètent pas la spécialisation de la recherche. On peut donc s’interroger s’il existe des marges de manoeuvre pour améliorer l’efficacité des politiques publiques à des fins d’innovation. Cette interrogation n’est pas nouvelle et parcourt de nombreux rapports tout comme elle a motivé de nombreuses réformes.

De nombreux rapports se sont penchés sur la politique d’innovation française, directement, comme le rapport Beylat-Tambourin (2013) ou le rapport de France Stratégie (2019), ou à travers les politiques d’investissement dans les technologies comme le rapport Juppé-Rocard (2009), le rapport Villani (2018) ou encore le rapport Potier (2020) (voir Annexe pour la liste des rapports). La succession de ces rapports marque la constance de l’intérêt politique pour l’innovation et de la motivation à placer l’économie sur une trajectoire de progrès technologique. Elle montre aussi la constance de l’inquiétude vis-à-vis des performances en matière d’innovation de l’économie française relativement à ses principaux partenaires.

Reviennent avec récurrence depuis 15 ans, les objectifs 1/ de l’insertion des PME dans le processus d’innovation et la diffusion des technologies en leur sein ; 2/ du financement de l’innovation et du manque de capital-risque ; 3/ de l’articulation entre recherche publique et acteurs privés. Depuis 10 ans, on observe une verticalisation des politiques. Alors qu’on excluait l’intervention dans des secteurs en particulier, voire même d’identifier ces secteurs, une telle retenue a disparu. Ainsi le rapport Potier (2020) liste 20 secteurs dont 10 prioritaires sur lesquels les efforts publics devraient se concentrer.

Les rapports se succèdent et engendrent des réformes institutionnelles qui complexifient le système.

Cependant les réformes récentes depuis le début des années 2000 ont infléchi le système français de recherche et d'innovation qui tente de dépasser le centralisme programmatique né après-guerre et qui a structuré le système français d'innovation et de recherche pendant 50 ans. De nombreuses réformes (voir [OCDE 2014](#), [Heraud & Lachmann 2015](#)) ont cherché à ouvrir le système à des modalités de financement plus concurrentiel en autorisant à la fois plus d'autonomie aux acteurs et plus de responsabilités dans l'acquisition de leurs moyens. Les réformes et politiques ont de plus en plus privilégié la recherche appliquée et les partenariats avec les entreprises afin de favoriser l'innovation.

Ce rapport s'intéresse précisément à l'évolution du financement de la recherche publique et à son incidence sur l'innovation en France.

Le lien entre le financement de la recherche publique et l'innovation n'est pas immédiat. [Nelson \(1959\)](#) met en évidence que beaucoup d'inventions n'ont pas forcément besoin de connaissances scientifiques fondamentales et qu'il peut y avoir de la distance entre la découverte scientifique et son usage dans une invention. Cependant, une invention repose toujours sur un stock de connaissances, elle naît d'un besoin concret, d'un problème à résoudre, mais se sert de la science disponible pour le résoudre.

La question de savoir comment l'augmentation des publications scientifiques permet d'augmenter le contenu technologique de la production et les innovations reste ouverte. Il y a sans doute aujourd'hui plus d'attente et d'impatience vis-à-vis de la capacité de la recherche scientifique à se traduire en innovation. Le temps qui autrefois s'écoulait entre la recherche et les innovations était indéniablement plus long et alors que les idées nouvelles peuvent apparaître plus rares ([Bloom et al. 2020](#)), les attentes des financiers, publics et privés, sont fortes. La mondialisation et la diffusion des idées a permis un raccourcissement de la distance. L'augmentation de l'investissement en R&D a augmenté les découvertes incrémentales. La question de savoir si l'évolution de la nature du financement joue sur l'innovation est importante pour valider la poursuite des réformes en ce sens.

Une meilleure compréhension de la relation est déjà un premier pas vers l'amélioration des politiques. Pour augmenter la connaissance sur cette relation, nous avons cherché à comprendre si l'évolution de la nature du financement de la recherche observée depuis le début des années 2000 (chapitre 1) avait une incidence sur les résultats de la recherche tels qu'ils sont révélés par les brevets, et les publications (notamment celles cités par les brevets). Le chapitre 2 procède à une analyse inter-pays alors que le chapitre 3 offre une analyse au niveau du laboratoire de recherche.

Chapitre 1

Evolution de la structure du financement de la recherche publique

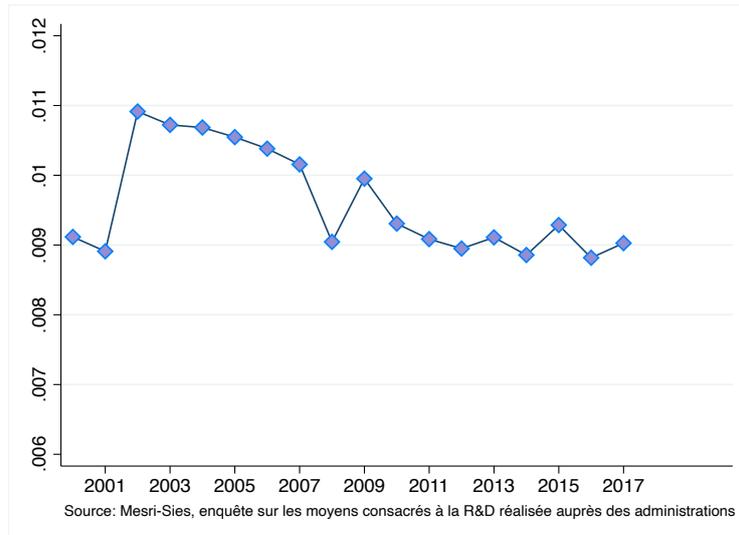
Le motif d'augmentation de la dépense en R&D depuis l'Agenda de Lisbonne n'a pas faibli depuis 2000. Il n'est pas de gouvernement qui n'ait reculé devant cet objectif. Cependant, il n'est pas de gouvernement non plus qui se soit particulièrement distingué dans les montants alloués à la recherche au cours des 20 dernières années, sinon celui de la Chine. En Europe, ce qui a le plus changé ce sont les modalités de financement de la recherche. Les financements concurrentiels ou sur appels à projet sont la modalité privilégiée par les fonds européens qui ont abondé de plus en plus les budgets de recherche des Etats membres. Bien que ce mode d'allocation des fonds soit moins prévalent en France que dans d'autres pays, comme cela a été souligné en introduction, il est devenu progressivement une modalité de plus en plus répandue en France. Depuis le début des années 2000, deux inflexions majeures du financement de la recherche se sont produites en ce sens : tout d'abord en 2005 avec la création de l'Agence Nationale pour la Recherche, puis en 2009 avec la création des Plans d'investissement d'avenir. Une autre caractéristique majeure de cette modalité de financement est l'incitation aux partenariats, qu'il s'agisse des partenariats entre disciplines, entre chercheurs de nationalité différente ou entre institution publique et structures privées.

S'agit-il d'un changement de modalité pour rendre plus efficace le financement de la recherche ou s'agit-il aussi d'un changement d'échelle de la recherche, le surcroît de financement étant octroyé de manière concurrentielle ? On s'interrogera aussi sur l'incidence de cette évolution sur la transmission des impulsions de politique d'innovation.

En termes quantitatifs, au cours des années 1990, c'est surtout la baisse des dépenses de R&D militaire qui sera le moteur du recul du financement public de la recherche. En termes qualitatifs, la gouvernance de la recherche devient de plus en plus complexe : d'une part elle se décentralise géographiquement avec l'apparition des pôles de compétitivité, puis elle se décentralise administrativement avec les PIA.

Dans ce chapitre, on montre les changements qualitatifs de la nature du financement public de la recherche publique. Dans un premier temps, on documente la diminution du financement structurel et la montée des financements concurrentiels, les motifs et les attentes. On conclut sur l'absence de ciblage sectoriel clair écartant la politique de financement de la recherche comme outil de politique industrielle verticale.

FIGURE 1.1 – Financement public de la recherche publique sur PIB



1.1 La diminution du financement structurel de la recherche publique

Cette section documente la diminution du financement structurel de la recherche dans un contexte général de recul du financement public de la dépense intérieure de R&D qui tient en grande partie au recul de l'exécution publique de la recherche. Le contenu technologique de la production augmente et avec lui les dépenses en R&D des entreprises. Cela est très visible dans l'évolution différenciée des chercheurs publics et privés.

1.1.1 La diminution des financements structurels

Malgré les objectifs technologiques des gouvernements, le financement public de la recherche est en recul. Ce constat est observé par le FMI (IMF (2021)) pour les pays de l'OCDE alors que le rapport du FMI consacre l'importance de la recherche fondamentale pour la productivité.

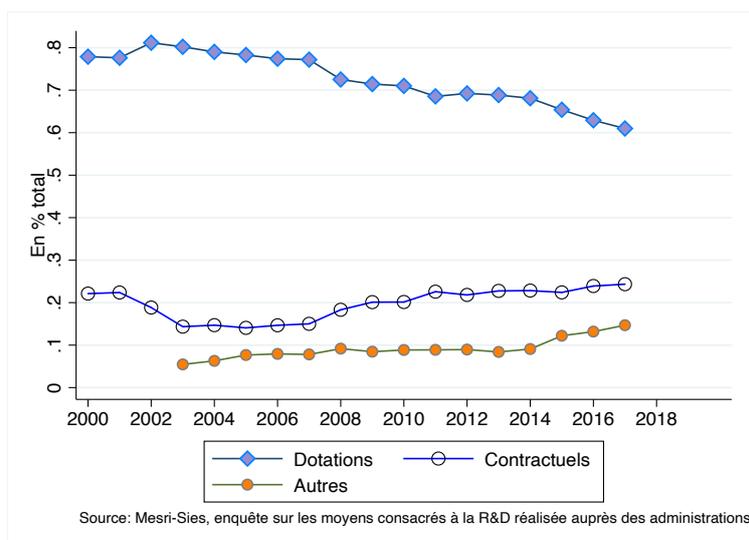
En France, si on rapporte le financement public de la recherche publique sur le PIB, on observe une légère décroissance depuis le point haut de 2003, mais depuis 2000, le ratio révèle plutôt une constance de l'effort. Depuis 2007, ce sont cependant quelque 0,001 point de PIB (0,1% du PIB) qui a été perdu, soit environ 2,3 milliards d'euros à l'aune du PIB de 2019. Cela représente plus de 10% du financement public de la recherche publique.

Autrement dit, depuis l'agenda de Lisbonne et la succession de rapports et de commissions préconisant l'intensification des investissements dans la recherche, aucun changement d'envergure notable n'est à relever.

Afin d'observer l'évolution différenciée des financements dits structurels (non concurrentiels et récurrents) et des financements concurrentiels, les données du MESRI ventilent les fonds selon qu'ils relèvent de la dotation budgétaire ou des ressources contractuelles (publiques type ANR, PIA, Ademe, BpiFrance, CdD ; ou privé). On observe une montée de la part contractuelle et celles des autres ressources (Figure 1.2). Ces dernières sont notamment des redevances de la propriété intellectuelle, des dons et legs et des prestations de services. La somme des ressources non contractuelles atteint plus du tiers du financement en 2017.

Le budget dédié à la recherche publique tel qu'il ressort des documents du MESRI tourne

FIGURE 1.2 – Nature du financement de la recherche publique



autour de 19 milliards d’euros depuis 2009, il atteint 20,5 milliards d’euros en 2017. Il correspond aux dotations budgétaires consommées mais également aux ressources contractuelles.

Une des causes majeures non seulement de l’importance du financement public de la DIRD française mais aussi du recul des financements structurels est le recul des dépenses militaires et du financement de la recherche via la commande publique. [Belin \(2015\)](#) observe que "les financements publics en direction des projets défense représentent toujours une part conséquente de la plupart des budgets publics nationaux de recherche et développement des pays de l’OCDE et les agences de défense ainsi que les entreprises de défense jouent un rôle important dans les politiques nationales d’innovation."

La France est traditionnellement une puissance militaire de première ordre dans le concert des nations mais les modifications géopolitiques se sont accompagnées du ralentissement des dépenses militaires. Par ailleurs, si le contenu technologique de la défense s’est intensifié, les industriels de la défense recourent de plus en plus à des alliances pour la réalisation de leur recherche.

Les entreprises appartenant à la base industrielle et technologique de défense (BITD) — disons les entreprises de la défense — réalisent une part importante des dépenses de R&D des entreprises relativement à leur nombre. Ainsi selon [Quemener & Oudot \(2015\)](#), en 2012, elles représentent 5% des entreprises déclarantes au CIR mais 21% de la créance fiscale, avec un montant de créance moyenne par entreprise 5 fois plus élevée que pour les entreprises hors défense. De plus parmi les 1955 entreprises classées dans la BITD, la moitié déclare des dépenses de R&D éligible au CIR. En 2012, c’est donc un montant de 3,6 milliards d’euros, qui ressort des bases de données du CIR (GECIR). La dépense en R&D est sans doute plus élevée, car le CIR se distingue de l’investissement en R&D pour des raisons comptables mais aussi surtout parce que le CIR comptabilise les dépenses nettes des subventions. Or les entreprises de la défenses sont des bénéficiaires traditionnels et majeurs des subventions à la R&D.

Ces entreprises ont-elles plus de relation avec la recherche publique ?

Toujours selon [Quemener & Oudot \(2015\)](#), les entreprises de la BITD externalise peu la réalisation de leur R&D mais légèrement au-dessus des autres investisseurs auprès d’entités publiques. De plus selon [Belin \(2015\)](#), relativement aux autres entreprises faisant de la R&D, la recherche fondamentale (7,5 % vs 5,2 %) et de développement expérimental (54,6 % vs 49,5

%) représente une part plus importante que la recherche appliquée (37,9 % vs 45,3 %) dans le total des dépenses de R&D des entreprises de défense.

Selon le MESRI (2020), les financements publics de la recherche des entreprises hors CIR sont majoritairement — 60% — issus de la défense (DGA et CEA). En 2018, le financement défense représentait 1,6 milliard d'euros sur les 2,7 milliards d'euros total. Des quatre branches principales qui concentrent la moitié des financements publics, 85% des financements des trois premières branches (construction aéronautique et spatiale; fabrication d'instruments de mesures de mesure, de navigation et horlogerie et fabrication d'équipements de communication) proviennent du ministère des armées.

La R&D des industries de défense a pour particularité d'entremêler plus intensément acteurs publics (DGA et CEA) et acteurs privés, sans compter que de nombreuses entreprises de défense ont un actionnariat public. La dualité civil-militaire disparaît de plus en plus, déjà observée par [Guillou et al. \(2009\)](#), ce qui autonomise un peu plus les entreprises de défense de la commande militaire.

1.1.2 Démographie des chercheurs et laboratoires

Que révèle la démographie des chercheurs et des laboratoires sur l'évolution du financement ? Elle nous montre que la dynamique de la DIRD est portée par les chercheurs privés et que les financements concurrentiels n'ont pas permis d'augmenter clairement les ressources ni des laboratoires, ni des chercheurs.

Démographie des chercheurs

Sur la même période, les effectifs des chercheurs publics ont connu une croissance assez semblable de celle de leur budget, ce qui a stabilisé le budget par chercheur des administrations publiques depuis 2008. Les fonds concurrentiels ne sont pas venus accroître en moyenne le financement par chercheur.

Depuis 2000, l'évolution des chercheurs dans le secteur public a été très plate, l'essentiel de l'augmentation de la population des chercheurs s'est faite dans le secteur privé.

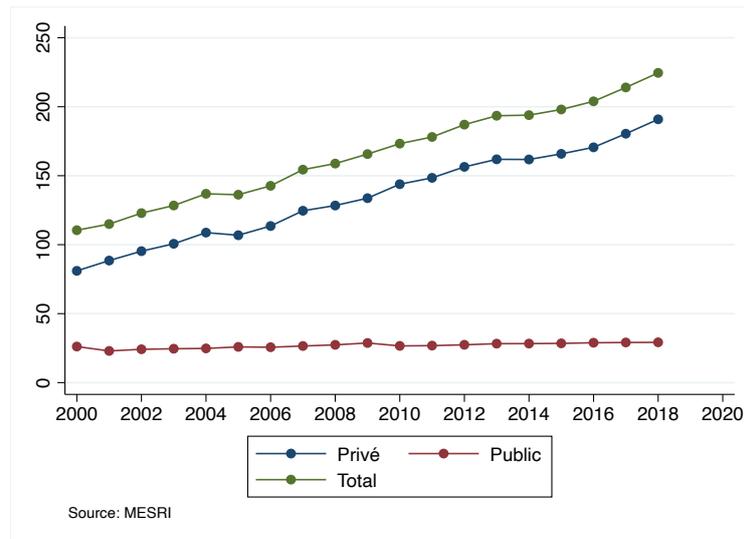
Dans l'Etat de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation en France (2020), il est recensé en France 295 700 chercheurs (en Equivalent temps plein, ETP). Le texte précise "Les personnels de recherche ont fortement progressé dans les entreprises entre 2009 et 2017 (+ 17 %) ainsi que dans les établissements d'enseignement supérieur, à la faveur du recrutement d'enseignants chercheurs pour faire face aux afflux d'effectifs étudiants. En revanche, dans le secteur institutionnel dit de l'État, composé essentiellement des organismes, le personnel de recherche s'est replié de près de 5 %." On observe dans la Figure 1.3, des trajectoires en effet très différentes entre chercheurs privés et chercheurs publics. Cette divergence s'observe dans de nombreux pays comme cela sera étudié dans le chapitre 2 (2).

Incidences

Bien entendu, une partie des emplois de chercheurs sont temporaires et associés à des appels à projets remportés. Il faudrait distinguer les contrats à durée indéterminés (CDI) des contrats à durée déterminée (CDD) mais ces données sont difficiles à suivre sur le temps long. Les CDD sont le plus souvent associés aux fonds obtenus sur appel. Bien entendu, une petite partie des CDD sont aussi financés par des fonds structurels mais on peut raisonnablement penser que la croissance des CDD est en grande partie gouvernée par les financements concurrentiels.

Le montant des fonds concurrentiels au détriment des fonds structurels devrait alimenter une plus forte dynamique de recrutement de CDD que de CDI de chercheurs. Cela n'est pas sans

FIGURE 1.3 – Evolution des chercheurs publics et privés



incidence sur le type de recherche réalisée. Il est raisonnable de penser que les CDD se polarisent plus sur la recherche incrémentale en raison d'un horizon temporel borné et de la contrainte forte de publications associée à la recherche contractuelle (voir [Bhattacharya & Packalen \(2020\)](#)).

Si on rapporte le budget de la recherche au nombre de chercheurs publics, on constate que les fonds structurels par chercheur diminue et que les fonds concurrentiels sont plutôt constants. Il n'apparaît donc pas clairement que la modalité concurrentielle de financement de la recherche ait permis d'augmenter les ressources par chercheur.

Laboratoires de recherche publique

On répertorie trois types de laboratoires de recherche publique : les unités de recherche universitaire, les unités mixtes et les unités mixtes CNRS. Les unités mixtes — apparues dans les années 1990 — associent des enseignants-chercheurs des universités et des chercheurs des OPR. L'évolution de la somme de ces trois types de laboratoires est représentée dans la Figure 1.6. En 2017, on recense ainsi 4865 laboratoires de recherche publique. Les 2/3 sont des unités mixtes. Le nombre de laboratoires de 2005 à 2017 a baissé d'un peu moins de 1/5 (18%). Cette évolution retrace non seulement la fermeture de certains laboratoires mais surtout la fusion de laboratoires de recherche conduisant à des structures plus larges administrativement. Ceci étant dit, l'allocation des dotations structurelles par laboratoire en moyenne est plutôt restée constante (2,6 millions d'euros par laboratoire en moyenne en 2017), ce résultat ne préjugant en rien de l'ajustement des moyens aux besoins sachant que la taille des laboratoires n'est pas connue ici.

Selon l'enquête du Ministère de la recherche auprès des organismes de recherche, sont recensées en 2013, 20 organismes de recherche dont les 5 premiers reçoivent 84% des budgets.¹ A lui seul le Centre à l'énergie atomique (CEA) concentre 23% en 2001 et 26% en 2013 des financements publics.

1. Par ordre d'importance de budget en 2013, les 20 organismes sont : CNRS, CEA, INRA, INSERM, CNES, ONERA, INRIA, IFREMER, CIRAD, IRD, IRSTEA, ANDRA, IRSN, IFSTTAR, BRGM, CSTB, IPEV, INED, LNE, INERIS.

FIGURE 1.4 – Evolution du budget par chercheur public

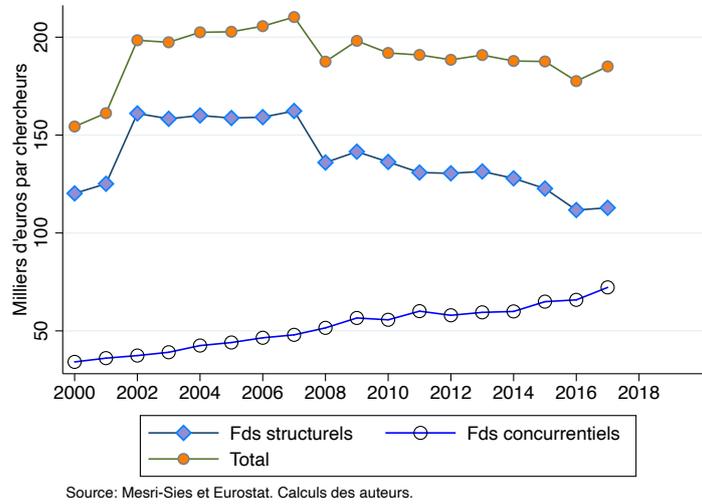


FIGURE 1.5 – Evolution du nombre de laboratoires de recherche publique

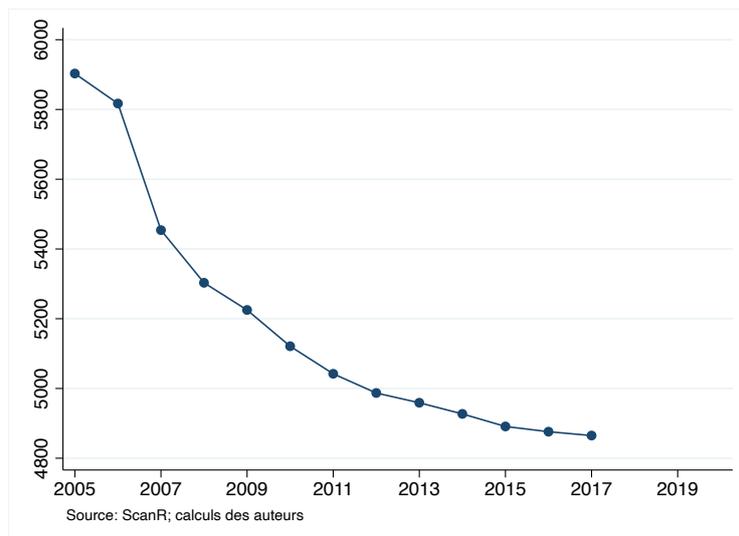
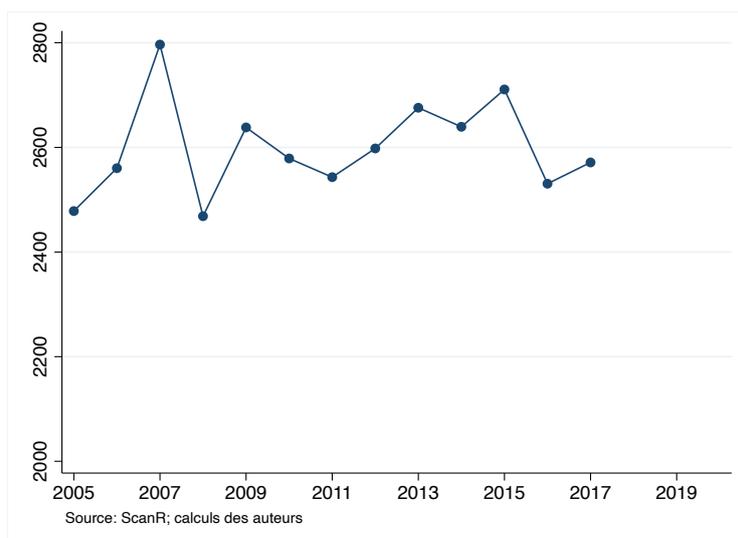


FIGURE 1.6 – Milliers d’euros par laboratoires de recherche publique



Le tableau 1.1 donne la répartition des moyens publics consacrés aux organismes de recherche publique en 2000 et en 2013 parmi les 10 premiers bénéficiaires.²

Les organismes de recherche publique qui sont listés dans ce tableau, soit la moitié en nombre, cumulent 95% de la dépense de R&D des OPR qui se montent à un peu plus de 9 milliards d’euros en 2013. Le budget moyen par chercheur (par exemple 100 000 euros par unité de personnel au CNRS en moyenne en 2013) a augmenté de 2001 à 2013 pour tous les OPR sauf le CNES et dans une moindre mesure pour l’IRD. Cela est cohérent avec la Figure 1.6 qui montre une tendance haussière jusqu’en 2015 par laboratoire. On observe qu’en 2013, le CNES et l’IFREMER sont les OPR les plus dispendieux par personnel de recherche (chercheurs et personnels de soutien).

La Figure 1.7 montre une quasi constance de la répartition des financements publics entre les 5 premiers organismes à l’exception du CNES qui a perdu en importance depuis 2001, alors que l’INRA (Institut national de recherche pour l’agriculture) et l’INSERM (L’institut national de la santé et de la recherche médicale) ont connu une augmentation de leur importance dans le total, leur dépense a été multipliée par 2. Le facteur de croissance le plus important — 2,5 — concerne le budget de l’INRIA (Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique).

Le CNRS est le plus gros OPR et le plus hétérogène dans ses thématiques. La loi de finance 2022 prévoit une dotation de 2,9 milliards d’euros pour le CNRS et 677 millions d’euros pour l’INSERM. Selon les chiffres donnés par le CNRS, son budget est de 3,5 milliards d’euros en 2020 pour plus de 1000 unités de recherche, 55 000 publications et 26 500 scientifiques (chercheurs et ingénieurs) et 700 brevets déposés en 2020. Le budget de 3,6 milliards en 2021 se décompose en 2,7 milliards de dotation de l’Etat, des ressources propres de 866 millions d’euros et une subvention pour rénovation thermique du plan de relance de 4 millions d’euros. En considérant toutes les ressources propres comme des ressources concurrentielles, le ratio de ces dernières relations aux dotations structurelles est de 32%.

Le nombre et la diversité des OPR sont un des traits majeurs du système d’innovation

2. 2013 est la dernière année disponible des données de l’Enquête sur les moyens consacrés à la recherche des OPR.

FIGURE 1.7 – Répartition de la DIRD par organisme de recherche

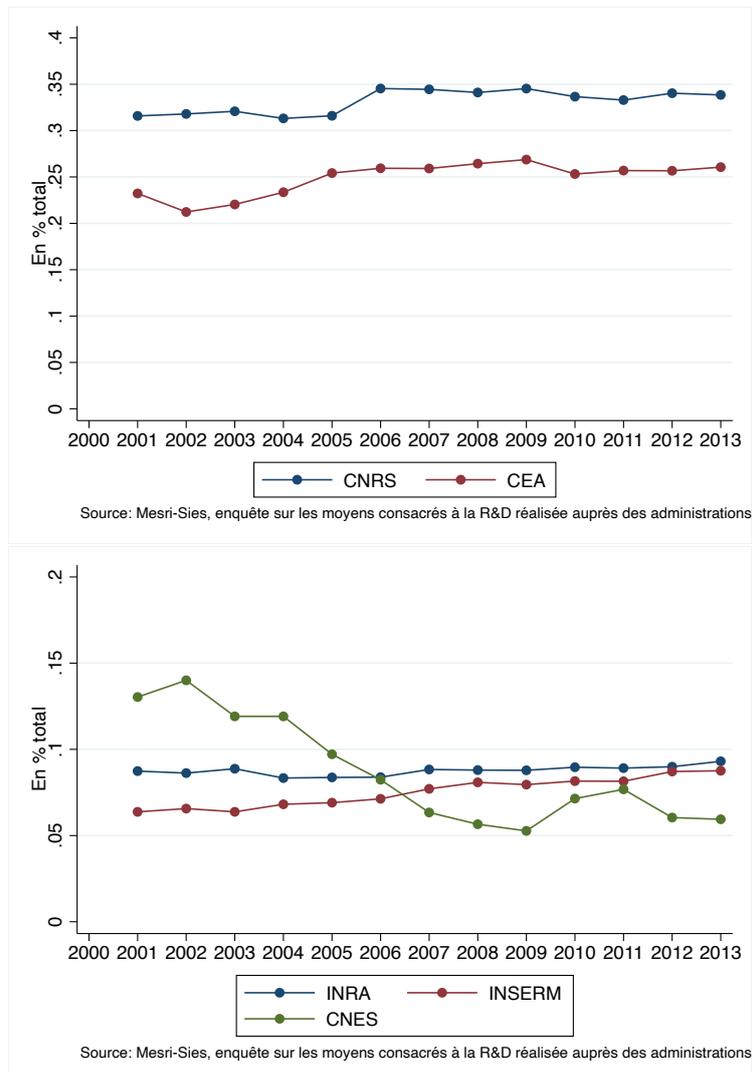


TABLE 1.1 – Moyens consacrés à la recherche publique en millions d’euros total et rapportés aux effectifs

	DIRD		DIRD/Effectifs	
	2000	2013	2000	2013
CNRS	1996,6	3146,7	0,07	0,10
CEA	1468,2	2422,4	0,14	0,18
INRA	552,44	865,0	0,06	0,09
INSERM	402,9	814,3	0,07	0,10
CNES	823,9	552,4	0,32	0,19
ONERA	191,4	231,8	0,10	0,12
INRIA	84,4	217,8	0,06	0,08
IFREMER	145,3	195,44	0,10	0,13
CIRAD	134,1	179,24	0,08	0,08
IRD	105,8	172,64	0,09	0,08

Source : Enquête sur les moyens consacrés à la recherche, valeur de la dépense intérieure de R&D
Calculs des auteurs.

français. Ils concentrent des budgets et des effectifs conséquents. Si les budgets par unité de personnel augmentent, rien ne nous permet de dire qu’il s’agit d’une augmentation des moyens à euros constants. Au niveau des orientations thématiques de la politique d’innovation, on constate que la santé, l’agriculture et le numérique sont privilégiés, mais l’absence de données détaillées ne nous permet pas de dire si l’augmentation de leurs dépenses tient à une augmentation de leur dotation ou de leurs contrats.

1.2 La montée de la modalité concurrentielle

Heraud & Lachmann (2015) nous rappellent que le modèle français a en fait convergé vers celui des économies de développement comparable. Le tournant du millénaire est, un peu partout dans le monde développé, un moment de bascule vers des formes plus décentralisées de politiques d’innovation." (p. 18) Le système de recherche français se caractérisait par une forte centralisation et une forte composante structurelle avant les années 2000, ainsi qu’un esprit de planification étatique de la recherche. De manière anecdotique le CNRS était considéré comme une des plus grosses institutions de recherche après l’académie des sciences de l’URSS. On parlait alors de colbertisme technologique.

Le rapport de l’OCDE examinant la politique d’innovation française (OCDE (2014)) regrette la rémanence d’un système hybride malgré les réformes mises en place, mixant des modalités d’administration de la recherche reposant sur les organismes de recherche publique et des dotations structurelles et des structures plus ouvertes avec un financement plus concurrentiel. Le rapport appelle de ses vœux la poursuite des réformes mais aussi la simplification du système et sa rationalisation. Il est vrai que le système superpose encore aujourd’hui de nombreux niveaux d’intervention et d’instances de financement de la recherche.

Plus récemment Guérin (2019) ne s’éloigne pas beaucoup de ces conclusions et constate un financement concurrentiel qui reste faible en France.

La logique du financement concurrentiel s’est imposé pour diverses raisons. Des critères de politiques publiques ont encouragé des processus d’expertise externe et d’attribution des fonds

en fonction de projets explicites. Des critères de rendements de la recherche ont aussi plaidé en faveur de cette modalité : la sélection des bonnes équipes, l'incitation aux coopérations entre disciplines et entre chercheurs, l'incitation aux publications.

Sur ce dernier point, le financement sur appel serait plus incitatif aux publications dans la mesure où ces dernières permettent plus facilement de se faire connaître et d'augmenter la notoriété afin de lever des fonds. Certains y voient aussi un détournement des forces scientifiques vers la recherche incrémentale plus aisément publiables (Bhattacharya & Packalen 2020).³

La montée de la modalité concurrentielle s'accompagne d'une forte incitation à inclure les entreprises dans le processus de recherche ainsi qu'à transformer la recherche en innovation brevetée.

Par ailleurs, il est plus aisé de faire passer les orientations de politiques publiques par la modalité concurrentielle dans la mesure où des appels à projet thématique sont possibles. Au contraire les dotations structurelles récurrentes qui financent les OPR et les universités confient l'orientation de la recherche de façon indépendante à ces organismes eux-mêmes. La liberté académique des chercheurs peut alors conduire à une recherche déconnectée des orientations de la politique d'innovation, cependant cette liberté est également propice à une recherche fondamentale de rupture.

Nous décrivons à suivre les deux modalités concurrentielles mises en place qui sont au coeur de la transformation du mode de financement de la recherche publique en France : les fonds ANR et européens tout d'abord qui sont du même type ; les PIA ensuite qui sont un dispositif plus complexe.

1.2.1 Les fonds de l'ANR et européens

L'Agence Nationale pour la Recherche a été créée en 2005. Sa mission première est de financer la recherche scientifique française, recherche fondamentale et appliquée, par la sélection de projets suivant des appels annuels. Les appels à projet de l'agence couvrent tous les domaines sauf la recherche spatiale (CNES) et certains domaines de la santé (Inra et ANRS). Depuis sa création, l'Agence a financé 18 500 projets (jusqu'en 2018).

Comme on l'observe dans la Figure 1.8, le budget a diminué depuis 2009 pour repartir à la hausse depuis 2015 sans retrouver les niveaux de 2010. Compte tenu de l'évolution du nombre de laboratoires et du PIB, l'effort de financement via l'ANR a clairement diminué en 2009 et ne s'est redressé qu'à partir de 2015. En 2019, l'ANR a financé à travers ses appels 569 millions d'euros.

L'ANR est également chargée d'affecter les fonds des instituts Carnot et des fonds des PIA vers les universités. Elle est donc le fer de lance de la politique de financement concurrentiel de la recherche. En raison de la faiblesse de ses fonds, le degré de sélection est élevé et insuffisamment incitatif. Les chercheurs doivent supporter le coût administratif du montage des projets avec une probabilité de réussite faible.

La montée des fonds contractuels nationaux est parallèle avec la croissance des fonds européens. En 2018, la France a reçu de l'Union européenne près de 1,2 milliard d'euros de financement, soit 2,3% de sa DIRD de 52 milliards d'euros.

Ce financement européen correspond à du financement direct, il comprend le financement en provenance de l'European Research Council mais également les bourses Marie Curie, et des financements thématiques divers tels que celui associé aux technologies de l'information et des communications ou encore l'ancien programme EURATOM. Il finance aussi bien la recherche

3. Bhattacharya et Packalen (2020) montrent que le ralentissement de la productivité des idées serait le résultat d'une course aux publications, motivation essentielle des carrières des scientifiques, qui les conduirait à se polariser sur la recherche incrémentale au détriment de la recherche plus disruptive (porteuse de ruptures scientifiques) et innovante.

FIGURE 1.8 – Financement ANR en nombre de projets et en Euros

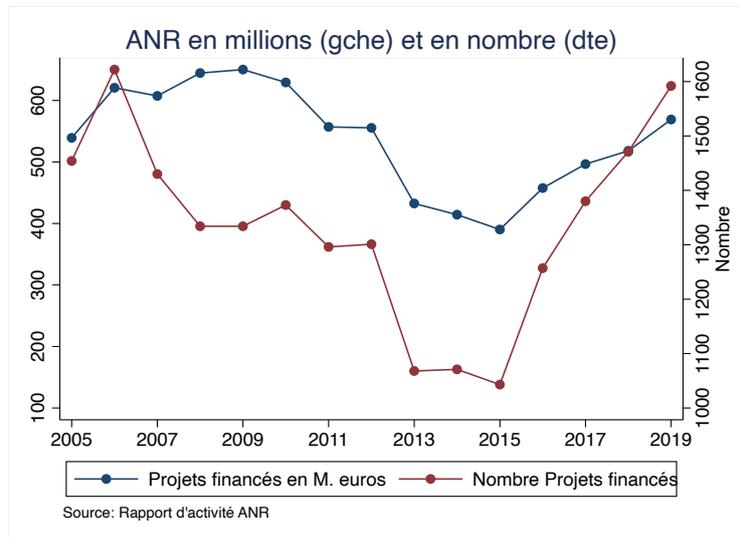


FIGURE 1.9 – Financement ANR rapporté au nombre de laboratoires de recherche

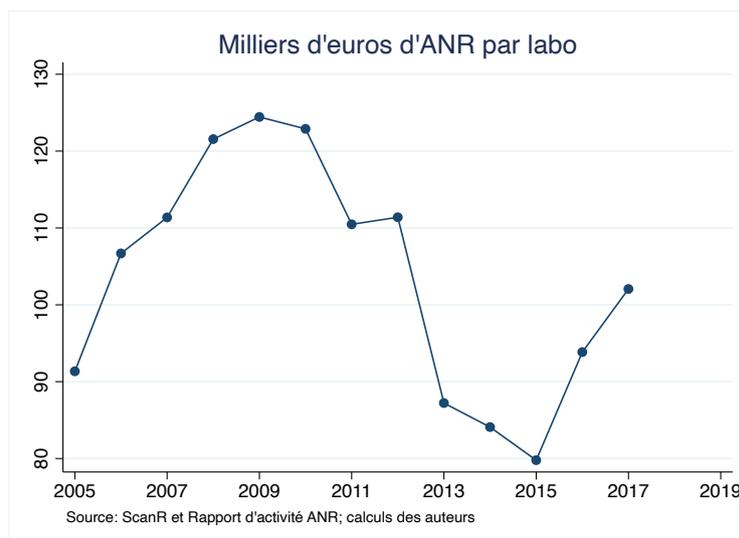
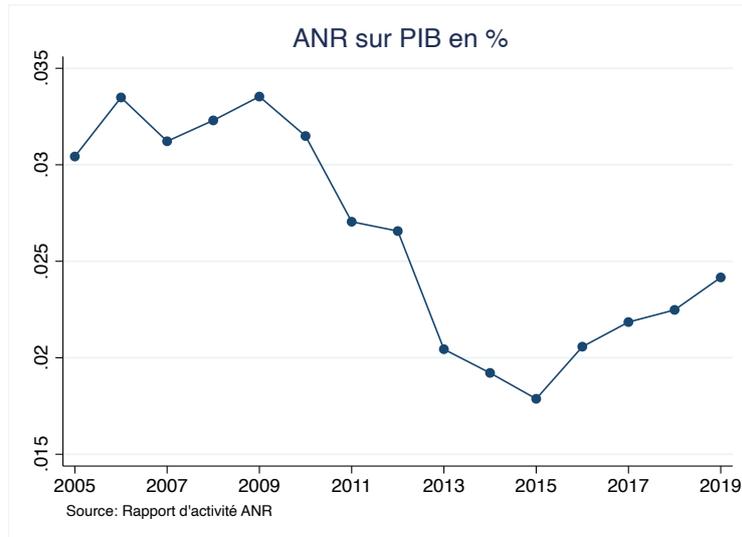


FIGURE 1.10 – Financement ANR rapporté au PIB



publique que la recherche privée. Pour ce qui concerne le financement de la recherche publique, cela passe principalement par l'ERC et les bourses Marie Curie. L'attribution de ces fonds est concurrentielle.

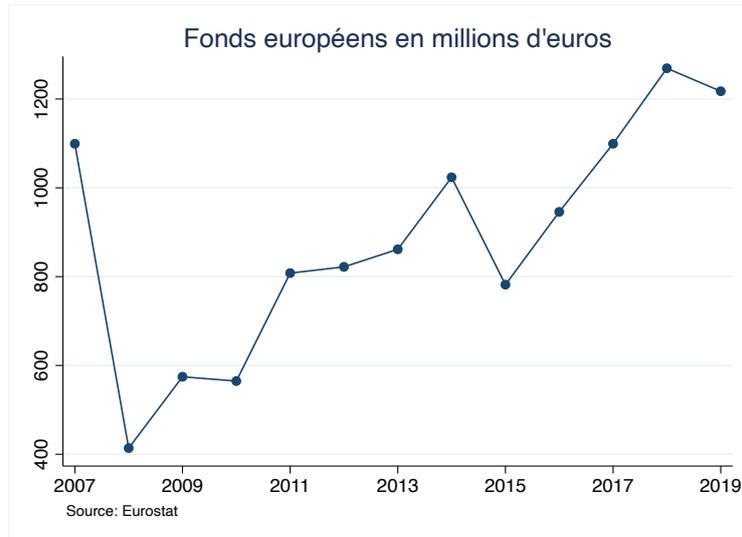
On observe un triplement des fonds européens à destination de la France entre 2008 et 2018. Selon le MESRI, les contributions allouées au titre d'H2020 se sont montés à 5,2 milliards d'euros (au 30 juin 2019).

Les fonds européens sont pas nature plus orientés vers l'innovation que la recherche fondamentale en raison de leur orientation thématique mais aussi de l'horizon temporel des financements.

Recherche appliquée versus recherche fondamentale : Les fonds concurrentiels sont un moyen plus souple d'orienter les financements, notamment vers la recherche appliquée. On observe une montée de l'arbitrage public en faveur de l'innovation ou de la recherche appliquée au détriment de la recherche fondamentale. Il est en effet notable que les fonds attribués à des projets incluant des partenariats avec des entreprises aient augmenté. La création des *Instituts Carnot* date de 2006. L'objectif est de labéliser des laboratoires de recherche comme spécifiquement orientés vers la recherche appliquée et les partenariats avec des entreprises. Le label est attribué par le ministère de la recherche sur proposition de l'ANR. La candidature à l'obtention du label répond à un appel de l'ANR tous les 4 ans. Le dernier date de 2019 et a retenu 37 laboratoires pour 4 ans et 2 autres pour 18 mois sur 44 candidatures.⁴ Le label permet d'obtenir des fonds additionnels — en 2019 62 millions d'euros — mais son obtention n'est pas aisée tant il faut démontrer l'existence et la poursuite de partenariats publics-privés tout comme la densité

4. En 2019, la liste des groupes de laboratoires sélectionnés sont : 3BCAR, AGRIFOOD TRANSITION, ARTS, CALYM, CARNOT@AP-HP, CEA LIST, CETIM, CHIMIE BALARD CIRIMAT, CLIM'ADAPT, COGNITION, CURIE-CANCER, ENERGIES DU FUTUR, ENERGIES ET SYSTEMES DE PROPULSIONS, FRANCE FUTUR ELEVAGE, ICÉEL, ICM, IFPEN TRANSPORT ENERGIE, IFPEN RESSOURCES ENERGETIQUES, IMAGINE, INGENIERIE A LYON, INNOVATION CHIMIE CARNOT, IPGG MICROFLUIDIQUE, ISIFOR, LETI, LSI, M.I.N.E.S, MECD, MERS, MICA, OPALE, PASTEUR MS, PLANT2PRO, POLYNAT, QUALIMENT, STAR, TELECOM et SOCIETE NUMERIQUE, VOIR ET ENTENDRE, et pour 18 mois INRIA et EAU ET ENVIRONNEMENT.

FIGURE 1.11 – Financement européen en millions d’euros



de ces partenariats. Les montants reçus par les laboratoires sont en relation avec les revenus générés des partenariats avec les entreprises privées (licences ou autres contrats). Il apparaît donc que le label est moins une incitation à changer de comportements qu’une récompense de comportements déjà bien ancrés.

1.2.2 Les fonds des PIA

En 2009, au sortir de la crise économique, le Président Nicolas Sarkozy installe une commission chargée d’identifier les priorités nationales, qui seront financées par un « grand emprunt » annoncé devant le Parlement réuni en Congrès le 22 juin 2009. La commission Juppé-Rocard rend son rapport « Investir pour l’avenir : priorités stratégiques d’investissement et emprunt national » le 19 novembre 2009 et préconise un investissement de 35 milliards d’euros, dont 16 milliards directement dirigés vers l’enseignement supérieur, la recherche et l’innovation, tandis que l’autre moitié concerne des champs voisins, liés à l’innovation et à la transformation des modes de vie et de production.

Au niveau universitaire, l’objectif est de construire des pôles de recherche et ”enseignement qui puissent se hisser très haut dans les classements internationaux (publier dans des revues prestigieuses et remporter des prix) tout en favorisant le développement d’écosystèmes de croissance, dans lesquels les chercheurs, les grands groupes industriels et les PME/ETI technologiques travaillent de concert. Dans la loi de finance rectificative (LFR) du 9 mars 2010, les fonds sont confiés à des organismes gestionnaires. Pour les IDEX, c’est l’Agence nationale de la Recherche (ANR) qui gère les dotations et coordonne les projets. Le 22 février, le Commissariat général à l’investissement (renommé Secrétariat général pour l’investissement en 2017) est créé et placé sous l’autorité du Premier ministre. Il est chargé de gérer les Investissements d’avenir. Le gouvernement de Jean-Marc Ayrault lance en juillet 2013 le PIA 2. Doté de 12 milliards d’euros, il compte 3,6 milliards destinés à l’Enseignement Supérieur Recherche Innovation (ESRI), notamment aux IDEX. Le 12 mars 2015, le Président François Hollande annonce un troisième plan d’investissement d’un montant de 10 milliards d’euros (2,9 milliards d’euros pour l’ESRI).

En 2020, dans le cadre du plan de relance de 100 milliards d’euros, le PIA 4 est doté de 20 milliards d’euros, dont la moitié est proprement associé au plan de relance. Le budget des PIA

est échelonné sur plusieurs années, au minimum 3 ans.

Les Idex, pour Initiatives d'Excellence, sont des programmes d'investissement rattachés aux « Investissements d'avenir », avec pour objectif de transformer l'enseignement supérieur français pour devenir compétitif au niveau mondial. Il s'agit de réunir, selon une logique de proximité géographique, des établissements reconnus pour former des pôles universitaires de haut niveau.

L'Agence nationale de la recherche est l'opérateur des Idex au sein du programme 327 "Pôles d'excellence" du PIA 1 mis en place en 2010 et du programme 409 "Ecosystèmes d'excellence" du PIA 2 de 2014, tous deux étant rattachés à la Mission "Recherche et enseignement supérieur" (MIREs). Le PIA 1, engagé en 2010, consacre 7,7 milliards d'euros aux "initiatives d'Excellence", qui sont des projets d'ensembles universitaires sélectionnés par un jury international suite à un appel à projets. L'appel d'offre est dirigé vers les groupements d'universités déjà constitués en Pôles de Recherche et d'Enseignement supérieur (PRES), créés dans le cadre du Grand Emprunt de 2009. Les trois premiers lauréats sont Bordeaux 1, Strasbourg et Paris.

Sciences et Lettres en 2011, suivent en 2012 cinq initiatives supplémentaire : Sorbonne Universités, Sorbonne Paris Cité, Saclay, Aix-Marseille et Toulouse. En avril 2016 deux IDEX, Toulouse et Sorbonne Paris Cité, sont interrompus. Le PIA 2 lance un nouvel appel à projet, clos en janvier 2015. Sept Idex sont examinées et deux projets sont sélectionnés à l'issue de la première vague, les universités Côte d'Azur (UCA) et Grenoble Alpes (UGA), et l'Université de Lyon est rajoutée en février 2017 lors de la seconde vague. Université de Paris (ex Sorbonne Paris Cité) dépose un nouveau dossier en 2017 et voit sa période probatoire renouvelée en 2018.

Le Secrétariat Général pour l'investissement (SGPI), qui coordonne les PIA, met en œuvre une seconde politique d'investissement du même type que les Idex : l'action I- Site pour Initiatives Science-Innovation-Territoires-Economie. Ce label favorise la restructuration de sites universitaires, sélectionnés sur des projets portant sur des grandes problématiques actuelles (modes de vie et de production durables, urbanisme, santé, développement durable etc.) avec l'ambition – comme pour les Idex – de placer ces nouvelles structures dans les classements internationaux.

Les Laboratoires d'Excellence (Labex) constituent le second volet du financement de la recherche dans le cadre du Grand emprunt. L'objectif des Labex est de "faire émerger des laboratoires d'excellence, dans tous les territoires et dans toutes les disciplines" (MESRI, 2010a). Par ailleurs, le Labex peut être constitué par des laboratoires d'universités différentes, sans discrimination géographique. Cette action encourage le regroupement d'équipes de recherche et de laboratoires sur une base disciplinaire, avec comme objectif la visibilité scientifique internationale. On peut souligner une moindre insistance sur la dimension territoriale, écosystémique, qui prédomine dans la constitution des Idex/I-Site. Les financements Labex et Idex ne sont pas cumulables. Si une équipe de recherche ou un laboratoire remporte un financement Labex au sein d'un établissement bénéficiant d'un Idex, alors les crédits du Labex sont imputés aux crédits de l'Idex.

Par exemple l'université de Grenoble (UGA) bénéficie en 2017 d'une dotation non consommable de 800 millions d'euros, dont les intérêts de 25 millions sont ventilés de manière suivante : 10 millions pour les Labex et 15 millions pour l'Idex mobilisables sur les quatre ans de la période probatoire. En plus de la dotation en capital, les universités sélectionnées reçoivent des investissements de partenaires et ont potentiellement plus de chances de bénéficier de ressources externes : appels à projets ANR, fonds européens, financements privés etc. Le nombre de lauréat est plus important que dans le cas des Initiatives d'Excellence. La première vague a désigné 100 lauréats, auxquels s'ajoutent 71 lauréats lors de la deuxième vague de l'appel à projets.

Les Équipements d'Excellence (Equipex) s'inscrivent dans le programme "Projets thé-

matiques d'excellence" et visent à investir dans des "équipements de recherche de valeur intermédiaire"(ANR, 2017), c'est-à-dire qui ne rentrent pas dans le cadre des très grands équipements internationaux ni dans les budgets récurrents des organismes et établissements de recherche. Le MESRI (2010b) estime que la France souffre au début du XXI^e siècle d'un retard dans les équipements de taille intermédiaire (équipements dont la valeur se situe entre 1 et 20 millions d'euros) et l'action Équipements d'Excellence vise à sélectionner les meilleurs projets, qui sont des « accélérateurs de découvertes et d'innovations » (MESRI, 2010b), pour combler ce retard de manière efficiente. Le financement des Equipex est assuré par l'ANR avec une part consommable et une part non-consommable – une dotation – génératrice d'intérêts, avec la même logique – durant la période des PIA – que les Idex et Labex.

Ici encore tous les domaines sont concernés : bibliothèques numériques et larges bases de données pour les Sciences humaines et sociales, moyens de calculs plus puissants pour les mathématiques, plateformes expérimentales en physique et sciences de la vie et de la terre, plateformes partagées d'imagerie en médecine etc. Les établissements reçoivent des dotations consommables – consommables – permettant l'achat d'équipements et des dotations non consommables qui permettront – grâce aux intérêts – de financer le fonctionnement des équipements et l'émergence de nouveaux appels à projets.

PIA et financement de la recherche

Le recouvrement des PIA successifs brouille l'identification du financement de l'innovation et de la recherche par année et précisément ce qui est décaissé. Les comptes publics révèlent qu'au 30 juin 2020, donc hors PIA 4, sur l'enveloppe des 57 mds d'euros, 47 mds ont été engagés, dont 45 contractualisés, desquels 26 mds ont été décaissés. Sur les trois premiers PIA, ce sont donc moins de la moitié des enveloppes qui ont été effectivement décaissées (i.e. versées aux bénéficiaires). Plusieurs défauts de lisibilité touchent le PIA 4 (et plus largement les PIA) :

- Les crédits des PIA 1 et 2 sont toujours en train d'être contractualisés puis décaissés, par le biais d'une comptabilité extérieure à la mission « Investissements d'avenir ». Le recouvrement des deux PIA peut être compliqué avec par exemple l'action « Initiatives d'excellence » (IDEX) du programme 327 « Pôles d'excellence » du PIA 1 a été transférée dans le programme 409 « Ecosystème d'excellence » du PIA 2 ;
- Les crédits du PIA 3, qui sont intégrés dans la mission « Investissements d'avenir » font l'objet d'un suivi budgétaire qui va se poursuivre jusqu'en 2028, du fait des dotations décennales débutées en 2018 ;
- 15% des AE du PIA 4 (intérêts FII et DNC) ne sont pas budgétisés sur la mission « investissements d'avenir », cela représente 3,427 mds d'euros ;
- Les « stratégies d'accélération » qui composent le programme 424 du PIA 4 sont encore en cours d'élaboration, bien que les crédits aient été votés

Le rapporteur spécial du rapport des sénateurs s'inquiète ainsi de savoir s'il "sera possible à la représentation nationale de réellement suivre et contrôler l'emploi des crédits".

1.3 Conséquences

De ce portrait de l'évolution du financement de la recherche publique en France, quatre faits importants ressortent :

1. Depuis l'agenda de Lisbonne et la succession de rapports et de commissions préconisant l'intensification des investissements dans la recherche, aucun changement d'envergure notable n'est à relever.

2. On observe une montée des mécanismes de financement concurrentiel mais leur part reste faible relativement à ce qui s’observe dans les autres pays.
3. Les fonds concurrentiels ne sont pas venus accroître en moyenne le financement par chercheur ni par laboratoire.
4. La dynamique de la DIRD est portée par les chercheurs privés en cohérence avec une accentuation de l’intérêt pour la recherche appliquée à des fins de compétitivité.

La faiblesse de la modalité concurrentielle handicape la transmission de la politique d’innovation et son usage comme levier de politique industrielle. L’inertie des dotations structurelles ne permet pas aux décideurs publics d’arbitrer vis-à-vis des domaines de recherche. Si on ajoute l’absence de fléchage du financement public de la recherche privée (CIR), on se retrouve avec un degré d’intervention élevé quantitativement mais peu discrétionnaire sur les orientations. S’il s’agit de retrouver du pouvoir sur les orientations de la recherche appliquée, il serait opportun de conditionner le CIR à des appels à projets thématiques. La modalité de financement public de la recherche privée s’est de plus en plus concentrée sur le crédit d’impôt au détriment des subventions, mais le propre du crédit d’impôt est d’exclure les pouvoirs publics de toute orientation des financements. Aucune évolution vers des appels à projets sélectifs — à la manière de la DARPA américaine — n’a été envisagée pour faire évoluer le financement public de la recherche privée depuis la création du CIR.

Ce faisant, la recherche fondamentale française dispose des conditions de son déploiement, notamment l’horizon quasi-infini des dotations structurelles, mais elle manque de moyens alors que ses coûts (chercheurs étrangers, moyens techniques, durée de la découverte) s’élèvent irrémédiablement. Alors que le secteur privé augmente ses dépenses en recherche appliquée, plus que jamais, comme le soulignait déjà Nelson (1959), l’avantage comparatif des universités (et OPR) est dans la recherche fondamentale. A défaut de bouleverser son modèle mixte et compte tenu de l’inertie de l’organisation de la recherche, il faut accentuer l’avantage comparatif des structures de recherche propres à la France : d’une part en intégrant plus clairement les universités et en supprimant la double tutelle à des fins d’efficacité organisationnelle ; d’autre part en pariant sur la recherche fondamentale de haut niveau. Comme cela est synthétisé par [OCDE \(2018\)](#), la modalité concurrentielle n’est pas, de son côté, exempte de critiques et les processus de sélection des agences peuvent s’améliorer.

Rappelons ainsi que la recherche sur la technologie de l’ARN messenger a longtemps cherché à être financée par les agences publiques. En effet, comme le raconte [Dolgin \(2021\)](#), la technologie de l’ARN messenger remonte aux années 1980 et au cours des quarante dernières années, de nombreux chercheurs ont travaillé sur cette technologie. Parmi eux, la biochimiste Katalin Karikó et ses collègues avaient fait des découvertes fondamentales dans les années 1990 sur le processus cellulaires utilisées dans la technologie des vaccins contre la COVID-19. Et pourtant, aucune agence publique n’avait accepté de financer ses recherches, les experts se méfiant du caractère non conventionnel de la recherche. Le caractère novateur de ces recherches ont joué contre elles. Ce qui souligne que l’allocation des fonds par les experts ne privilégie pas la recherche disruptive. La prise de risque qui est attendue du financement public — le risque que ne supporterait pas l’investisseur privé ([Arrow 1962](#)) — n’est pas toujours suffisante. Le problème du conservatisme des agences de financement concurrentiel est un des problèmes les plus contrariants. A la fois les obligations de résultats que supportent ces agences ([Lorsch 2015](#)) et l’ancrage intellectuel des experts — par définition expérimentés — dans les connaissances et méthodologies scientifiques passées ([Boudreau et al. 2016](#), [Ayoubi et al. 2021](#)), ne prédisposent pas les agences à financer la nouveauté.

Un autre inconvénient de la modalité concurrentielle est le temps passé par les chercheurs à écrire les propositions alors que les chances d’obtenir les fonds peuvent être très faibles.

Par exemple, selon [Stephan \(1996\)](#), un chimiste aux Etats-Unis peut facilement passer 300 heures par an à écrire des propositions pour répondre à des appels. La plupart des propositions rédigées des chercheurs pour répondre à des appels d'offre seront rejetées. Le taux de succès du National Institute for Health des appels R01 est de 12% ("Success Rates | RePORT," 2020), et en France le taux de succès de l'ANR est de 30% (Rapport d'activité de l'ANR, 2018). Il y a donc un gaspillage de ressources des scientifiques, lesquels dévient une partie de leur temps de recherche vers la quête de financement ([Ioannidis 2011](#)). Cependant, il a été aussi démontré que le processus de réponse aux appels pouvaient augmenter la productivité des chercheurs et leurs réseaux de coopération ([Ayoubi et al. 2019](#)).

La modalité concurrentielle ne doit évidemment pas être abandonnée, mais plutôt que de se substituer aux dotations structurelles, son efficacité reposera sur l'augmentation de ses moyens afin de rendre les taux de sélection compatibles avec le coût des réponses aux appels et éviter de perdre les avantages procurés par les dotations structurelles, notamment d'autoriser la prise de risque des chercheurs.

Chapitre 2

Incidence de la privatisation de la recherche sur la production de connaissances : une analyse inter-pays

Cette étude utilise la variance inter-pays pour explorer le lien dans le temps entre financement de la recherche et production de connaissances scientifiques (les publications) et techniques (les brevets). Dans le prolongement de l'étude de la démographie des chercheurs réalisée dans le chapitre 1, l'évolution du financement de la recherche est ici capturée par deux ensembles de facteurs. Le premier ensemble inclut la main-d'oeuvre dans la recherche. Le deuxième ensemble inclut le soutien à la recherche et l'innovation par la Commission européenne et les gouvernements, ainsi que le niveau de protection de la propriété intellectuelle dans chaque pays.

2.1 Introduction

La stratégie de Lisbonne de 2000, où furent fixés les objectifs de 1 et 2 de points de PIB de R&D publique et privée, s'est accompagnée d'une montée en puissance des financements concurrentiels, notamment européens (FP6, FP7 puis Horizon 2020).¹ La mise en oeuvre de cette stratégie est concomitante à des réformes des politiques scientifiques dans les différents pays, visant l'autonomie et la mise en concurrence des universités (voir [Musselin 2009](#)) et de plus en plus tournées vers l'innovation par les entreprises du secteur privé. Ces réformes sont particulièrement nombreuses en France (loi Allègre et "CIR jeunes docteurs" en 1999, JEI en 2004, ANR en 2005, loi LRU en 2007, montée en puissance du CIR en 2008, LABEX dans le cadre du PIA en 2009, IDEX en 2011, ComUE et CII en 2013, LPR en 2020).²

La baisse depuis l'année 2000, en France, de la part des financements structurels récurrents à destination de la recherche publique a déjà été montrée dans le chapitre 1. La question posée dans le chapitre 2 est celle de savoir si ces modifications dans le financement de la recherche, qui sont induites par les réformes, sont neutres sur l'évolution de la répartition des chercheurs

1. Notons que certains pays tels que l'Allemagne, l'Autriche et la Suède ont atteint la cible des 3%. Il n'y a qu'au Danemark semble-t-il, que l'addition des efforts public et privé dépasse 3% avec 1% d'effort public déjà atteint.

2. CIR (Crédit d'impôt recherche), JEI (Jeune entreprise innovante), ANR (Agence nationale de la recherche), LRU ou Loi dite d'autonomie des Universités, LABEX (Laboratoires d'excellence), PIA (Programme d'investissement d'avenir), IDEX (Initiatives d'excellence), ComUE (Communauté d'Universités et Établissements), CII (Crédit d'impôt innovation), LPR (Loi de programmation de la recherche).

entre secteurs public et privé et, en retour, sur la production de connaissances scientifiques et techniques. L'objectif du double de R&D privée que publique, n'accroît-il pas l'écart de publications vis-à-vis de pays en haut du classement ?

Dans la **section 2**, nous examinons le ratio entre les effectifs de chercheurs des secteurs privé et public. Dans le cas de la France, ce ratio sera étudié à la lumière des réformes entreprises ces deux dernières décennies. Nous présentons la base de données dans la **section 3**, où nous définissons les effectifs dans la recherche, et les autres variables qui seront utilisées ultérieurement. Dans cette section, nous rappelons la situation de la France en termes de publications et de brevets au sein de l'UE-28. Nous passerons peu de temps sur ce dernier point (nous renvoyons le lecteur aux rapports de l'Hcéres pour plus de détails). Dans la **section 4**, nous développons un modèle économique sur lequel reposera l'estimation de l'équation économétrique des publications. Le modèle généralise celui développé par [Courtioux et al. \(2019\)](#) au cas de chercheurs ayant des propensions à publier hétérogènes. Dans la **section 5**, nous estimons l'équation économétrique des publications et celle des brevets, dans lesquelles les principales variables explicatives sont les effectifs dans la recherche publique et privée, les financements récurrents, les fonds concurrentiels de la Commission européenne, les aides directes et indirectes, et une mesure de niveau de protection de la propriété intellectuelle. La spécification de l'équation des brevets reprend celle de [Rassenfosse & Van Pottelsberghe de la Potterie \(2009\)](#), dans laquelle nous séparons les facteurs de propension à breveter des facteurs de productivité de la recherche privée. La **section 6** conclut ce chapitre par quelques recommandations de politique économique et des pistes d'amélioration de cette recherche.

2.2 Ratio chercheurs privés/chercheurs publics et soutien public à la R&D des entreprises

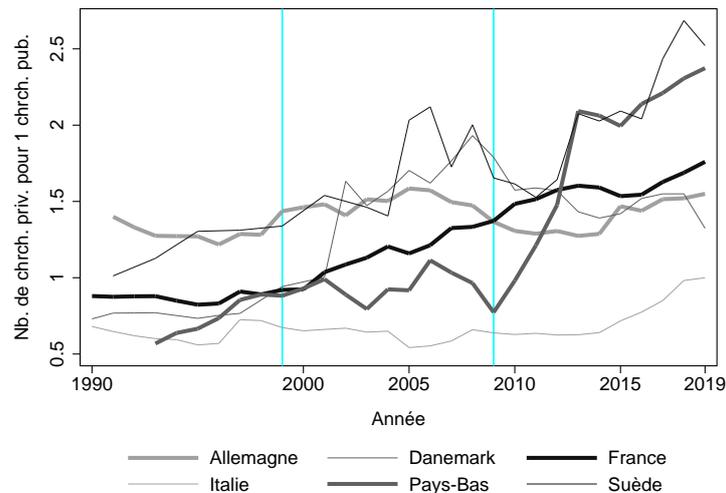
En France, la stratégie de Lisbonne et les politiques de recherche et d'innovation mises en oeuvre, caractérisées par une montée en puissance des dispositifs fiscaux et des fonds concurrentiels, sont concomitantes à un quasi-doublement du nombre de chercheurs privés relativement au nombre de chercheurs publics. En effet, comme on peut voir dans le graphique ci-dessous, la France est passée en trois décennies de 0,88 chercheur privé pour un chercheur public en 1990 à 1,76 en 2019. Ce phénomène s'observe aussi pour les Pays-Bas. Nous avons par ailleurs calculé le taux de croissance annuel moyen du ratio chercheurs privés / chercheurs publics pour les 28 pays membres sur la période 1990-2019. Le ratio a augmenté d'environ 2,4% en France, contre moins de 0,5% en Allemagne.

Le décrochage impressionnant du ratio aux Pays-Bas serait la conséquence d'un coup de pouce à la recherche privée en réponse à la crise financière de 2008 (réformes du CIR néerlandais et du régime de *patent box*), sans réduction de l'effectif public. À partir de 2009, la *patent box* néerlandaise, qui s'appliquait aux bénéfices des brevets, s'applique plus généralement aux bénéfices des innovations. Les crédits d'impôt accordés pour cette mesure se montaient à 52 M d'€ en 2008, 91 M d'€ en 2009, ..., et 541 M d'€ en 2013.³ L'Allemagne est à une position intermédiaire. Mais l'introduction en 2019, par le Parlement allemand, d'un dispositif fiscal en faveur des dépenses de R&D, pourrait très bien stimuler le ratio, comme en France. Surtout que le CIR allemand est exclusivement assis sur les salaires (voir [Guillou & Salies 2020](#)).

La variable représentée étant un ratio, il est pertinent de distinguer les mesures qui, à la fois baissent le dénominateur et augmentent le numérateur (la Loi Allègre de 1999, par exemple), de celles qui augmentent le numérateur (le dispositif du CIR en faveur des jeunes docteurs,

3. Nous remercions Pierre Mohnen, spécialiste du CIR néerlandais, pour ces informations. On pourra retrouver ces statistiques là : <https://www.dialogic.nl/projecten/evaluatie-innovatiebox-20102012>, page 38.

FIGURE 2.1 – Evolution du ratio des chercheurs par pays



introduit la même année que la loi Allègre). Concernant le premier type de mesures, la LPR semble amplifier les mesures introduites dans la loi Allègre, qui visaient à inciter les personnels des laboratoires publics à collaborer avec le secteur privé (ou être des sous-traitants). Elle autorise ces personnels à participer à une entreprise, ou à la création d’une entreprise, dont l’objet est d’assurer la valorisation de travaux de recherche et d’enseignement (voir les Articles 24 et 25 de cette loi). Concernant le second type de mesures, il y a plus de choses à dire.

La littérature empirique des effets du CIR sur l’emploi ([Salies 2022](#), voir[]) soutient l’hypothèse d’un accroissement du ratio. Brièvement, les évaluations du dispositif révèlent que le CIR corrige la discrimination à l’embauche des docteurs dans les entreprises, avec un effet d’aubaine pour les docteurs-ingénieurs. La réforme de 2008 du CIR a accéléré l’embauche de docteurs de spécialité d’ingénieur (la probabilité de sortie du chômage augmente significativement de 26,7% par rapport à celle des ingénieurs). Dans les TPE, les aides en faveur de la R&D (CIR inclus) ont un effet sur l’emploi aidé hautement qualifié. Entre 2003 et 2010, l’emploi aidé a augmenté de 233% dans les TPE, et a été multiplié par près de cinq dans les PME (hors TPE). La probabilité qu’une entreprise de R&D, rentrée dans le CIR l’année de la réforme de 2008 ou après, emploie deux ingénieurs ou plus, est plus forte un an déjà après le recours.

Il y a aussi les thèses CIFRE, dont la LPR au passage envisage la montée en puissance. [Guillouzonic & Malgouyres \(2020\)](#) trouvent que la probabilité qu’un docteur-ingénieur CIFRE soit en CDI, trois ans après la soutenance de sa thèse, est 44% plus élevée que pour un docteur-ingénieur non-CIFRE. Des études d’impact du CIR corroborent l’hypothèse d’un effet positif sur les salaires à la R&D dans les entreprises ayant recours à ce dispositif, cumulé ou pas avec d’autres aides à la R&D (voir [Salies 2022](#), pour une revue).

2.3 Les données

Il s’agit de données macroéconomiques observées pour l’ensemble des 28 pays de l’UE, depuis 1990 dans la meilleurs des cas. Les données sont publiques et en accès libre. Les sources accompagnent la description de chaque variable ci-dessous.

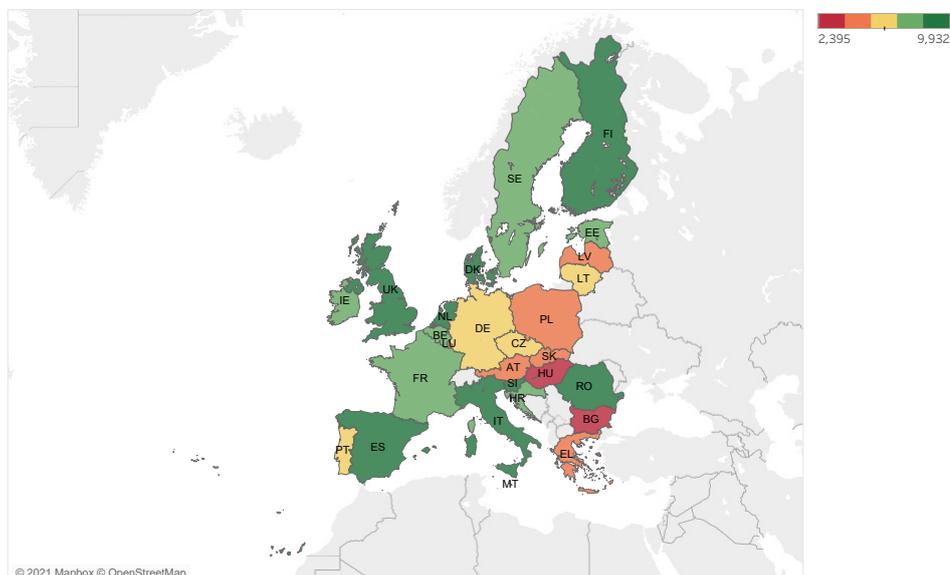
- **Le nombre annuel de publications.** Les données de publication proviennent de deux bases. La base KNOWMAK, élaborée à partir de Clarivate Analytics - Web of Science (WoS) par le Centre for Science and Technology Studies situé à Leiden aux Pays-Bas. Les publications retenues dans KNOWMAK sont celles en rapport avec deux grands domaines scientifiques en Europe : *Key Enabling Technologies* (nanotechnologies, biotechnologies, etc.) et *Societal Grand Challenges*, qui représente un des principaux piliers du programme H2020 (sécurité alimentaire, protection de l'environnement, etc. ; voir la décision du Conseil de l'UE, JOUE 2013/743/UE). L'autre base, élaborée elle aussi à partir de Clarivate Analytics - WoS, contient les publications non-fractionnées. Nous souhaitons comparer les résultats des régressions obtenus avec les publications KNOWMAK à ceux que nous obtiendrons à partir de la base plus exhaustive de Clarivate Analytics - WoS.
- **Le nombre de demandes de brevets** (Eurostat, base *pat_ep_ntot*). Il s'agit des demandes déposées auprès de l'office européen des brevets (OEB).
- **L'indice de protection de la propriété intellectuelle** (Park 2008). Développé par Walter G. Park, cet indice mesure le niveau de protection de la propriété intellectuelle dans 122 pays entre 1960 et 2019. Il est construit comme une somme non-pondérée de cinq indicateurs compris entre 0 et 1, de sorte que l'indice est compris entre 0 et 5. L'indice ne varie que tous les cinq ans.
- **Les effectifs dans la recherche publique et privée** (données Eurostat, base *rd_p_persocc*). Les effectifs de chercheurs publics incluent les chercheurs des universités et des organismes publics. Dans le privé, il s'agit des ingénieurs de recherche (docteurs ou pas), y compris les diplômés ayant un Master effectuant des activités de R&D. Les effectifs sont mesurés en équivalent temps plein (ETP).
- **Fonds européens** (Eurostat, base *rd_e_gerdfund*). Il y a les fonds versés aux laboratoires publics et aux laboratoires privés, mesurés en millions d'euros de 2005.
- **Aides directes aux entreprises** (Eurostat, base *rd_e_gerdfund*). Mesurés en millions d'euros de 2005.
- **Aides indirectes aux entreprises** (OCDE). Il s'agit des mesures fiscales (crédit d'impôt, allègement de cotisation, etc.). Elles sont agrégées dans une seule variable et mesurées en millions d'euros de 2005.⁴

Certaines variables sont disponibles sur une période plus restreinte que les autres. Les effectifs et les brevets sont disponibles depuis le milieu des années 1990 pour la plupart des pays. Les fonds européens sont disponibles depuis 1997 pour la suède, mais seulement tous les deux ans (les années impaires). Ils ne sont disponibles en 2019 que pour quatre pays, et ne sont disponibles pour la grande majorité des pays qu'à partir de 2000. Certaines variables limitent un peu plus fortement la période d'observation disponible pour l'analyse. Les montants du crédit d'impôt recherche français sont disponibles depuis le début des années 1980, à partir de différentes publications du MESRI, mais ils ne sont disponibles dans le panel OCDE qu'à partir de 2000. Les données de publications KNOWMAK ne couvrent que la période 2000-2018.

Voyons brièvement la situation de la France en termes de production de connaissances scien-

4. OECD R&D Tax Incentives database ; <https://oe.cd/rdtax>. Pour une description de cette variable, Appelt et al. (2019).

FIGURE 2.2 – Ratio des publications (KNOWMAK) pour 100 chercheurs (secteurs public et privé), par pays



tifiques (les publications) et technologiques (les brevets) au sein de l’Union Européenne des 28, à partir de nos données. Sur la période 2016-2018, la moyenne des publications (KNOWMAK) annuelles pour 100 chercheurs (public + privé) est assez faible, moins de 10. La France est classée 11^e (sur 28), avec 7,7 publications. La base Clarivate Analytics - WoS, qui inclut plus de domaines scientifiques (cf. *supra*), révèle que la France est à la 24^e place, avec 27 publications pour 100 chercheurs. L’Italie est à la 1^{re} place avec une moyenne de 53 publications annuelles, soit deux par chercheur tous les quatre ans.

La distribution des publications KNOWMAK pour 100 chercheurs dans l’UE-28 est reportée dans la **figure 1.2** ci-dessous (la carte colorée rouge pour les pays qui publient moins que la moyenne, et vert pour les autres). Après l’Italie, les États membres les mieux positionnés sont notamment les Pays-Bas et le Royaume-Uni. C’est plus sur le rang de la France et des quelques autres pays, que sur la valeur absolue des publications annuelles par chercheur (public + privé), que nous avons voulu attirer l’attention ici.

La faible “productivité” des pays en terme de publications s’explique par la forte concentration des publications (“une minorité [de chercheurs] produit la majorité des publications”, selon une loi de Pareto ; voir [Gingras \(2020\)](#)).⁵ L’autre explication soulevée ici est le fait de prendre en compte les chercheurs en entreprise au dénominateur, dont le nombre est relativement plus élevé que les chercheurs du secteur public dans la moitié des pays, alors que 80% au moins

5. Plus précisément, on évoque parfois la distribution de Lotka, qui est une loi puissance reliant le nombre de chercheurs L au nombre de publications P ainsi : $L = C/P^2$, avec C , qui peut être estimé, dépend de la population de publications à disposition. Par exemple, avec $C = 4$, si 4 chercheurs ont une seule publication, alors seulement 1 chercheur a deux publications, etc. Voir le chapitre III dans [Gingras \(2020\)](#)

(Crespi & Geuna 2008, p. 569) des publications sont produites par la recherche publique. C’est le cas par exemple de l’Allemagne, avec 167 586 chercheurs dans le secteur public plus 250 050 dans le privé, pour 22 667 papiers (respectivement 180 000 environ dans la base Clarivate Analytics - WoS). À titre de comparaison, la France comptait 290 991 chercheurs (111 047 du public et 179 944 du secteur privé) pour 22 463 papiers (respectivement 80 000) en moyenne sur la même période (2016-2018). Larivière et al. (2018) montrent que parmi les quatre “secteur” de l’économie que sont l’université, le gouvernement, l’industrie et le reste, la part des publications WoS venant de l’université, est la seule à croître depuis 15 ans. Cette part est passée de 70% en 1995 à 80% en 2014, pendant que celle de l’industrie est passée de 6,5% à 3%.

S’appuyant sur le cas emblématique du Bell Labs, les auteurs font remarquer que pour des entreprises soucieuses de la viabilité à court-terme de leurs produits, et ayant une préférence pour des résultats concrets, la recherche fondamentale est une activité économiquement incertaine.

Courtioux et al. (2019) observent que la part des publications de la France est passée de 6 à 4% entre 2000 et 2015, pendant que celle de la Chine est passée de 4 à 18%.⁶ Le recul de la part des publications de nombreux pays dans le classement mondial est évidemment un effet de vases communicants, le nombre de publications chinoises ayant augmenté exponentiellement depuis le milieu des années 1980,⁷ Cependant, il y a des pays qui semblent mieux résister (Allemagne, Grande-Bretagne, etc. ; (voir OST 2021). Une des caractéristiques de la politique scientifique de la Chine et de ces pays est un effort constant d’investissement dans la recherche publique. Sur la période 2006-2015, l’Allemagne a accru le nombre de ses chercheurs publics de 44% (+35% pour le nombre de chercheurs à la R&D dans les entreprises), pendant que d’autres pays ont connu des augmentations déséquilibrées, comme en France (+15% dans le public contre +46% dans le privé), en Italie (+29% contre +68%) et aux Pays-Bas (+10% contre +98%).

La position de la France est meilleure en termes de production de brevets. Elle est 6^e, juste devant l’Italie. Pour donner une ordre de grandeur, la France dépose environ 10 000 brevets par an sur la période la plus récente. La distribution des six premiers pays en termes de brevets pour 100 chercheurs est la suivante : Allemagne (4,7), Autriche (4,3), Suède (4,0), Pays-Bas (3,8), Finlande (3,6) et France (3,3). La valeur moyenne de l’indice de protection grimpe en tendance dans l’UE-28 depuis 1990, pour atteindre 4,25 en 2015 –, et jusqu’en 2019 *a priori* puisque l’indice ne change que tous les 5 ans. Le niveau de protection est resté assez élevé en France (supérieur à 4) sur toute la période, pour atteindre 4,54 en 2015. En 2015, les pays les moins protecteurs, ou avec un niveau moyen, sont situés en Europe de l’Est ; il y a aussi la Grèce. Les plus protecteurs sont la Finlande, les Pays-Bas, l’Autriche, l’Allemagne et la France, dans l’ordre décroissant. Comme dans Park (2008), on observe une baisse, ici assez importante du coefficient de variation de l’indice inter-pays, qui est passé de 42,7% à 9,5% sur la même période, reflétant une certaine harmonisation des systèmes de protection de l’innovation. Park (2008) propose de calculer le coefficient d’asymétrie de Pearson $3 \frac{\text{moyenne} - \text{médiane}}{\text{écart-type}}$, afin de voir si l’harmonisation se fait vers plus de protection (l’indice d’une majorité de pays est supérieur à la moyenne, le coefficient est négatif) ou moins de protection (indice d’une majorité de pays inférieur à la moyenne, coefficient positif). Il semblerait qu’il y ait plus de protection entre 1990 et 2005, puis moins pendant quelques années, pour revenir à plus de protection depuis 2010.

La mesure des effets de la politique de recherche sur le nombre de publications et de brevets, passe par l’estimation de fonctions de production de connaissances. La fonction de production de connaissances scientifiques est microéconomiquement fondée sur le modèle de Courtioux et al. (2019), auquel nous apportons quelques modifications. La fonction de production de

6. Ces résultats sont obtenus à partir d’une sélection de neuf pays.

7. Fu & Y.-S. (2013).

connaissances techniques suit une spécification à la Rassenfosse et Van P. de la Potterie (2009), c'est-à-dire une fonction de Cobb-Douglas, que l'on peut "linéariser" en prenant le logarithme népérien des variables, mais qui distingue la propension à breveter de la "productivité" des chercheurs.

2.4 Le modèle de production scientifique

Notre étude s'inscrit dans la littérature privilégiant les effectifs plutôt que les fonds ; voir [Grossetti et al. \(2020\)](#) par exemple pour une étude sur données d'agglomérations. [Crespi & Geuna \(2008\)](#) privilégient plutôt les dépenses de R&D exécutées dans l'enseignement supérieur. [Courtioux et al. \(2019\)](#) considèrent également les dépenses de R&D dans le modèle économétrique. En revanche, le modèle économique sous-jacent comporte une identité reliant le nombre de chercheurs aux dépenses de R&D, de sorte qu'il n'y a aucune raison de privilégier la deuxième variable plutôt que la seconde dans le modèle économétrique. De plus, les variables de résultat qui nous intéressent, les nombres de papiers et de brevets, sont de même nature, c'est-à-dire des variables de comptage. Afin de justifier l'usage des effectifs plutôt que des dépenses, nous mènerons un test de recouvrement (*encompassing*).

L'unité d'analyse du modèle est le chercheur d'un pays. Cette unité pourrait être le laboratoire, ou tout autre entité (organisme, université, etc.) se situant à un niveau d'agrégation moins élevé que le pays. On suppose un pays comportant $i = 1, \dots, N$ chercheurs dans chacun. Le nombre de papiers d'un chercheur est noté p_i . Le chercheur bénéficie d'un financement f_i déterminé de manière endogène par le ministère de la recherche. Les auteurs relient p à f selon la loi de puissance suivante $p_i = a_i f_i^{\alpha_i}$, où les α_i représente l'élasticité des publications par rapport aux fonds pour chaque chercheur, et le paramètre a_i est la "productivité" du chercheur i . [Courtioux et alii](#) imposent les contraintes $\alpha_i = \alpha \in [0; 1]$ et $a_i = a, \forall i = 1, \dots, N$.⁸

On peut voir qu'il n'y a aucune hétérogénéité entre pays, ni dans le temps, dans le modèle (le modèle porte sur un pays représentatif). Les chercheurs sont distingués par la fraction ϵ_i du financement exogène total F qui leur revient. Sous l'hypothèse d'une politique de recherche qui vise simplement à déterminer les financements f_1, \dots, f_N maximisant le nombre de publication sous la contrainte que $\sum_i f_i = F$, les auteurs trouvent $\epsilon_i^* = 1/N$, et par conséquent $f_i^* = F/N$. Le nombre total de publications dans le pays est $P^* = aF^\alpha N^{1-\alpha}$. Les auteurs introduisent une relation iso-élastique entre N et F ($N \propto F^\beta$, avec $\beta \in]0; 1]$), l'idée étant qu'un gouvernement disposé à dépenser F , demande N chercheurs. Ils obtiennent finalement $P^* \propto F^\gamma$, avec γ une fonction non-linéaire des paramètres structurels α et β .

Nous modifions plusieurs composantes du modèle de [Courtioux et al. \(2019\)](#). Contrairement aux auteurs, c'est N plutôt que F qui nous intéresse, car nous voulons estimer les paramètres d'une équation de la forme $P^* \propto N^\delta$. De plus, nous supposons que les chercheurs peuvent avoir des aptitudes à publier différentes (on relâche la contrainte $a_i = a$). De même, nous supposons des pays hétérogènes dans l'espace et le temps. Par ailleurs, nous prenons en compte les fonds européens E_{jt} dans les fonctions de production de connaissance scientifique et technologique,⁹ et, comme [Crespi & Geuna \(2008\)](#), incluons un terme de tendance dans la fonction de régression. Cette variable contrôle des facteurs influençant les publications à la hausse : l'accroissement des externalités de connaissances (accès à un plus grand nombre de travaux scientifiques) permis

8. On a donc une "productivité marginale" des fonds décroissante.

9. Les auteurs discutent l'absence de fonds concurrentiels dans le modèle, et donc la régression. Cette absence n'aurait qu'un effet marginal, les fonds étant peu élevés relativement aux financements récurrents. L'argument est peu convaincant car les fonds n'ont cessé de croître. Par ailleurs, le niveau des fonds est moins important que leur covariance avec les publications. Enfin, ils oublient de dire que la variable des fonds européens n'étant par définition disponibles que pour les pays membres, ils doivent l'écartier s'ils ne veulent pas retirer une dizaine de pays non-UE de l'analyse.

par l'introduction d'Internet dans les laboratoires à la fin des années 1990, l'accès croissant à des bases de données – comme celles utilisées dans ce chapitre –, l'accroissement de la vitesse de calcul des ordinateurs pour les travaux de simulation, etc.

La relation publications-fonds prend la forme suivante :

$$p_{ijt} = A_{ijt} f_{ijt}^\alpha e_{ijt}^{1-\alpha}.$$

Le facteur d'échelle A_{ijt} peut contenir des éléments d'hétérogénéité entre chercheurs, entre pays, et dans le temps. Les fonds européens par chercheur dans un pays sont pour l'instant insérés de manière *ad hoc* dans l'équation : nous supposons que chaque année, les chercheurs d'un pays obtiennent le même montant, $e_{ijt} = E_{jt}/N_{jt}$, qu'ils aient ou pas concouru pour ces fonds. Après avoir noté $\sum_i f_{ijt}$ par F_{jt} , et résolu le modèle, nous obtenons le niveau de publications

$$P_{jt}^* = b^{-\frac{\alpha}{\beta}} \left(\sum_i A_{ijt}^{\frac{1}{1-\alpha}} \right)^{1-\alpha} N_{jt}^\delta E_{jt}^{1-\alpha},$$

où δ est une fonction non-linéaire de α et β . Le second terme à droite de l'équation dépend de l'aptitude globale du pays j à publier, justifiant ainsi la présence d'un effet pays dans le modèle empirique.

2.5 Le rôle des effectifs et du financement public sur la production d'articles et de brevets

[Courtioux et al. \(2019\)](#) ne mettent pas directement en relation les niveaux de publications et des fonds, mais *les parts mondiales de ces variables*, notées \hat{P} et \hat{F} . Leur modèle est relativement plus simple que celui que notre modèle que nous estimons un peu plus loin. Le résultat qu'ils obtiennent, $\hat{P}_{jt} = 1,19 \hat{F}_{jt}^{0,89}$, suffit à justifier que pour monter dans le classement mondial des publications, il faut investir relativement plus que le pays juste au-dessus de soi.¹⁰ Dans [Crespi & Geuna \(2008\)](#), l'élasticité (devant le log des dépenses exécutées dans les universités) est supérieure à 1/2, et augmente avec le nombre de variables de contrôle insérées dans la régression. L'élasticité s'approche de 1 quand les externalités de connaissances (le poids des collaborations scientifiques) sont prises en compte.

En considérant les effectifs dans la recherche, plutôt que les dépenses de R&D (ou les salaires à la R&D), comme principaux déterminants de la production de connaissance scientifique, notre spécification de l'équation des publications est plus proche du modèle bivarié publication-chercheur de [Grossetti et al. \(2020\)](#) estimé sur données d'agglomérations. Bien qu'utilisant les effectifs de chercheurs de chaque pays, notre spécification reste compatible avec celle de [Courtioux et al. \(2019\)](#) qui considèrent les dépenses de R&D (plus précisément, la part mondiale des dépenses de R&D de chaque pays). Le modèle économique suggère d'utiliser les dépenses plutôt que le nombre de chercheurs dans le modèle économétrique. Mais il ne l'impose pas dans la mesure où les deux variables sont reliées par une loi puissance déterministe. Un test statistique, pour hypothèses non-emboîtées, nous conduira à ne pas rejeter l'usage des effectifs, comme nous l'avions anticipé. Afin d'apprécier l'influence de la spécification en termes d'effectifs, nous avons d'abord appliqué le modèle empirique de [Courtioux et al. \(2019\)](#) à nos données, c'est-à-dire aux pays membres de l'UE à 28, sur les variables exprimées en parts, en incluant des effets pays fixes et, avec et sans terme de tendance. Lorsqu'un terme de tendance est inclus, l'estimation du coefficient γ (0,68) n'est pas trop éloignée de celle des auteurs.

10. Un modèle, basé cette fois-ci sur les citations, y compris les papiers de conférences, mais hors autocitations, donne un résultat très proches.

En notant Lpu_{jt} les effectifs publics de la recherche, Lpr_{jt} les effectifs privés et $CEpu$ les fonds européens allant à la recherche publique, l'équation de production de connaissances scientifiques que nous souhaitons estimer a la forme générique suivante :

$$P_{jt} = f(Lpu_{jt}, Lpr_{jt}, Lpu_{jt} \times Lpr_{jt}, CEpu_{jt}, t, M_j), j = 1, \dots, J, t = 1, \dots, T_j,$$

où t est le terme de tendance et $M_j, j = 1, \dots, J$ dénotent les effets pays, que nous considérons fixes.

L'équation économétrique des brevets est proche du modèle brevet-chercheur de [Rassenfosse & Van Pottelsberghe de la Potterie \(2009\)](#), bien que ce dernier inclut également les dépenses R&D à côté des effectifs. De notre point de vue, cette approche est redondante, à moins de considérer des composantes spécifiques de la R&D, comme nous le faisons dans ce travail. Nous allons considérer, dans cette équation, soit l'effectif des chercheurs privés, Lpr_{jt} , soit l'effectif total, $Lpu_{jt} + Lpr_{jt}$. Nous utilisons également les fonds concurrentiels européens vers les entreprises ($CEpr$), les aides directes (DI), indirectes ($INDI$), et la variable mesurant le niveau de protection de l'innovation (IPI). Dans le cas où l'effectif est Lpr , l'équation générique est la suivante :

$$B_{jt} = f(Lpr_{jt}, IPI_{jt}, Lpr_{jt}^{\lambda_{CEpr} CEpr_{jt} + \lambda_{DI} DI_{jt} + \lambda_{IND} INDI_{jt}}, t, M'_j), j = 1, \dots, J, t = 1, \dots, T_j.$$

2.5.1 Résultats de l'équation des publications

La colonne (1) du **tableau 2.1** montre les résultats de l'estimation du modèle de production scientifique (données KNWOMAK), en considérant tous les pays, comme chez [Courtioux et alii \(2019\)](#) et les variables supplémentaires évoquées précédemment. Comme on peut le voir, l'ampleur de l'élasticité relative aux chercheurs publics est plus importante que celle relative aux chercheurs du secteur privé. L'estimation de l'effet marginal du nombre de chercheurs publics, avec prise en compte du coefficient devant la variable d'interaction, vaut 0,38. Ce n'est pas très élevé, sachant qu'un effet marginal de 1, avec les variables prises à la moyenne, s'interpréterait ainsi : + 100 chercheurs publics entraîne + 13 papiers (dans les domaines retenus par le base KNOWMAK). L'effet marginal est du même ordre de grandeur avec la base des publications complète WoS (0,25). Néanmoins, le nombre moyen de publications est 4 fois plus élevé, de sorte que + 100 chercheurs entraîne + 60 publications.¹¹ En revanche, une modification du nombre de chercheurs du secteur privé n'a pas d'effet. Comme on pouvait s'y attendre, les fonds concurrentiels européens ont un effet significatif, mais faible. L'effet disparaît quasiment avec la base WoS complète, ce qui est cohérent puisque les fonds ne concernent qu'une partie des chercheurs (il faudrait étudier leur efficacité sur ceux qui les perçoivent, et non sur l'ensemble des chercheurs publics). Le terme de tendance a un effet positif et significatif comme nous nous y attendions.

Différents test (Breusch-Pagan; White) rejettent l'hypothèse d'homoscédasticité du terme d'erreur du modèle à effets fixes.¹² La colonne (2) du tableau présente les résultats du modèle à effets fixes estimé par la méthode des moindres carrés quasi-généralisés, en supposant une auto-corrélation des erreurs au sein de chaque pays. L'effet marginal du nombre de chercheurs publics sur les publications a le même ordre de grandeur que précédemment (0,26, $p > 0,01$). Les effectifs du secteur privé n'ont pas d'effet. Le coefficient devant les fonds européens est significativement différent de zéro au seuil de 5%.

11. Il serait intéressant de stratifier les pays par taille et de recommencer l'analyse.

12. Les statistiques sont disponibles sur demande à l'auteur.

Nous avons réestimé le modèle avec une régression de Poisson afin de mieux prendre en compte la nature de comptage de la variable dépendante y_{jt} , prise en niveau et non en log.¹³ Le modèle est de la forme $\Pr(P_{jt} = y_{jt} | f(\cdot))$, de paramètre $e^{f(\cdot)}$ avec $f(\cdot)$ ayant la même définition que dans le modèle linéaire. Dans ce cas, Les coefficients sont très significatifs, comme avec le modèle linéaire. L'élasticité devant le nombre de chercheurs publics est plus proche de 1 (0,93), avec un effet marginal (0,35) très proche de ce que nous avons trouvé avec le modèle linéaire précédent. Mais cette fois-ci, le nombre de chercheurs privés joue positivement sur la production scientifique (l'interaction négative avec le nombre de chercheurs publics n'est pas aussi forte que dans le modèle linéaire). L'effet marginal, 0,11, est cependant de un-tiers celui associé à la recherche publique. L'ampleur de l'effet des fonds européens est moindre que précédemment. La colonne (3) du tableau montre les résultats obtenus avec des erreurs standards robustes dont les valeurs sont à peu près 10 fois celles des erreurs standards non-corrigées.¹⁴

TABLE 2.1 – Estimation du modèle de production de publications

Variables ind.	Modèles		
	(1) Within	(2) MCQG	(3) MV - Poisson
lpu	1,43*** [1,20; 1,66]	1,39*** [1,09; 1,68]	0,93*** [0,24; 1,61]
lpr	1,10*** [0,86; 1,34]	1,22*** [0,92; 1,51]	0,72* [-0,12; 1,57]
$lpu \times lpr$	-0,12* [-0,14; -0,09]	-0,12*** [-0,15; -0,09]	-0,06*** [-0,14; 0,01]
$cepu$	0,06*** [0,02; 0,09]	0,04** [0,007; 0,078]	0,03 [-0,01; 0,09]
t	0,05*** [0,05; 0,06]	0,05*** [0,04; 0,06]	0,04*** [0,04; 0,05]
<i>Constante</i>	-120,83*** [-135,39; -106,27]	-115,07*** [-129,77; -100,38]	
Effets-pays	Oui	Oui	Oui
R_a^2	0,81	0,99	0,57
Nombre d'obs.	345	345	345

Note : les variables lpu et lpr sont les effectifs dans la recherche publique, retardés d'une année et pris en \log_e . La variable $cepu$ est les fonds européens à destination des laboratoires publics, prise en log et retardée d'une années. Les intervalles de confiance sont à 95%. Pour modèle (1), la statistique du test de Chow ($f = 63,21 > F_{0,05}(27,312) = 1,52$) corrobore l'hypothèse d'effets-pays hétérogènes. La statistique du test de Hausman ($119,39 > \chi_{0,05}^2(5) = 11,07$) suggère de rejeter le modèle avec effets aléatoires, ce que confirme la valeur (qui vaut 94,24) de la statistique de test de restrictions de *suridentification* dans le modèle avec effets-pays aléatoires (Schaffer, M.E, Stillman, S., 2010. <http://ideas.repec.org/c/boc/bocode/s456779.html>).

13. Wooldridge, J.M., 2009. "Introductory Econometrics : A Modern Approach ", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

14. Cette inflation reflète une *surdispersion* des publications dans la plupart des pays et dans l'ensemble. voir Cameron & Trivedi (2005).

Nous avons évalué la spécification du modèle dans lequel les effectifs dans la recherche sont le principal déterminant des publications, relativement à deux autres ensembles de déterminants : les salaires à la R&D et les dépenses de R&D. Nous allons donc comparer le modèle précédent (notons-le M1) avec un modèle dans lequel nous avons les salaires à la R&D à la place des effects (modèle M2) et un troisième modèle avec les dépenses de R&D plutôt que les effectifs (M3). Il s’agit de modèles non-emboîtés, que nous avons choisi de comparer à l’aide du test de Cox ; voir [Granato & Suzuki \(1996\)](#) et [Greene \(2003\)](#). La procédure de test de comparaison des trois modèles nécessite de calculer six statistiques de test (le nombre d’arrangements de 2 modèles parmi 3). Concernant la comparaison de M1 avec M2 par exemple, on peut tester l’hypothèse que M1 recouvre M2, ce que l’on note $M1 \xi M2$, et qui signifie que M1 explique la variance des publications expliquée par M2. Dans ce cas, la statistique de test, qui est supposée suivre une $N(0, 1)$, doit être proche de zéro (on considère un risque de première espèce de 0,01). Dans le cas contraire ($M1 \not\xi M2$), la statistique est largement inférieure à zéro.

TABLE 2.2 – Tests de recouvrement : modèle M1 (effectifs), M2 (salaires), M3 (R&D)

	Hypothèse					
	M1 ξ M2	M2 ξ M1	M1 ξ M3	M3 ξ M1	M2 ξ M3	M3 ξ M2
Statistique de test	-19,78	-17,71	-23,16	-16,46	-9,67	-0,49
	($p < 0,01$)	($p = 0,31$)				

Note : entre parenthèses, les p -valeurs.

Les coefficients de corrélation multiples des modèles M1, M2 et M3, qui valent respectivement 0,87, 0,78 et 0,82, montrent que la qualité d’ajustement des M1 est légèrement supérieure avec M1. M2 est le moins bon modèle selon ce critère (les R_a^2 suivent le même ordre, 0,90, 0,86 et 0,88). Pour savoir lequel des trois modèle est *significativement* moins “bon”, on a recours au test de Cox. Les résultats des tests de Cox figurent dans le **tableau 2.1**. On constate que M1 ne recouvre pas M2 ($M1 \not\xi M2$) ; M1 est rejeté en faveur de M2 car la statistique de test, $-14,23 < -1,96$. Mais c’est aussi vrai lorsqu’on permute les modèles ($M2 \xi M1$). La statistique de test, $-14,18 < -1,96$. On aboutit aux mêmes conclusions lorsque l’on compare le modèle incluant les effectifs avec celui incluant les dépenses de R&D ($M1 \not\xi M3$ et $M3 \not\xi M1$). En revanche, l’hypothèse $M3 \xi M2$ n’est pas rejetée au seuil de 1%. La statistique vaut $-2,13$ et $p > 0,05$. Ce résultat confirme un peu ce que nous avons trouvé avec les R^2 . Pour conclure, la stratégie de test ne permet pas de discriminer entre les dépenses de R&D et les effectifs.

Afin de comparer un peu plus les modèles M1 et M1, nous avons conduit un test à la Mizon et Richard (voir [Adjei et Adjei, 2016](#)) qui revient à estimer un modèle englobant incluant les variables de M1 qui ne sont pas dans M3 et *vice versa* ([Adjei & Adjei 2016](#)). La statistique de Fisher de nullité des coefficients devant les variables d’effectifs vaut $29,02 > F_{0,01}(3, 246) = 3,86$, conduisant ainsi à rejeter le modèle avec les dépenses de R&D. Le test de nullité devant les variables de dépenses conduit également à rejeter le modèle avec effectifs. Nous avons reconduit ces tests en insérant des effets temporels à côté des effets pays, et en estimant le modèle par les moindres carrés généralisés (erreurs AR(1)). Ces modifications ne changent pas la conclusion. La dernière méthode que nous avons utilisée est celle du test de Davidson et MacKinnon. La logique du test est la suivante. Si M1 est meilleurs que M2, alors le coefficient de la variable des valeurs ajustées des publications obtenues avec M2 ne devrait pas être significatif dans M1. Et *vice versa* si M2 est meilleurs. La procédure n’est pas conclusive avec la spécification sans effets temporels. En revanche, lorsque nous insérons des effets temporels, la méthode de Davidson et MacKinnon conduit à rejeter le M3 mais pas M1. Pour conclure, le modèle avec les effectifs

semble préférable à celui avec les dépenses de R&D, qui lui-même est préférable à celui avec les salaires.

2.5.2 Résultats de l'équation des brevets

Concernant la production de brevets, nous trouvons des résultats intéressants, en particulier l'effet de la variable de protection de la propriété intellectuelle, et celui des effectifs privés dans la recherche. Dans le tableau ci-dessous, nous reportons les résultats de l'estimation de l'équation des brevets KNOWMAK avec les effectifs privés dans la recherche. Les effectifs privés produisent des résultats toujours un peu plus précis que l'effectif global, et les coefficients de corrélation multiples sont plus élevés.

La première colonne du tableau présente juste une régression du logarithme des brevets sur celui des effectifs (lpr), dans un modèle avec effets fixes. On constate que les rendements d'échelle sont décroissants. Cette élasticité est une valeur approchée de la "productivité" des chercheurs du secteur privé en termes d'innovation. La colonne (2) présente l'estimation de la fonction de production de brevets. Le facteur influençant la propension à breveter (le niveau de protection des brevets) a un effet positif, significatif et élevé (l'élasticité est proche de 2). Les fonds européens à destination des entreprises ont un effet marginal qui vaut 0,0016 (supérieur à l'élasticité d'un facteur 10 environ). Les aides directes et indirectes n'ont pas d'effet sur la productivité des chercheurs dans ce modèle. La colonne (3) présente l'estimation à l'aide d'un modèle de Poisson, qui colle à la nature de comptage de la variable dépendante. Le coefficient de corrélation multiple (non-ajusté dans ce cas) est calculé à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson entre les brevets et leur valeur ajustée. Comme on peut le voir, le coefficient de la variable de protection des brevets est peu sensible au changement de modèle; le coefficient vaut 1,81. La "productivité" des chercheurs vaut 0,16. Contrairement au résultat du modèle précédent, elle est stimulée par les différents types d'aides.

2.6 Conclusion et extensions

Nous retrouvons un fait stylisé de la littérature, qui est que les effectifs de chercheurs publics sont le principal déterminant des différences inter-pays en termes de publications. En revanche, le nombre de chercheurs du secteur privé a un pouvoir explicatif plus fort sur les brevets. Ces résultats suggèrent que les politiques de la recherche et de l'innovation ayant pour conséquence d'accélérer le transfert des moyens financiers du public vers le privé, y compris des chercheurs, pourraient être favorables à l'innovation au détriment de la production de connaissances scientifiques fondamentales. Nous trouvons également que les fonds européens ont un effet plutôt positif et significatif, sur les publications et la productivité des chercheurs. Le niveau de protection de la propriété intellectuelle est très significatif, avec une élasticité supérieure à 1, suggérant que l'harmonisation des systèmes de brevets en Europe, qui semble aller dans le sens de plus de protection, est favorable à l'innovation.

Nous souhaitons améliorer cette étude dans plusieurs directions. Nous essaierons d'abord d'endogénéiser les fonds européens reçus par chaque chercheur, en modélisant éventuellement la mise en concurrence des chercheurs de différents pays. Nos résultats sont très probablement plus précis que ceux de [Rassenfosse & Van Pottelsberghe de la Potterie \(2009\)](#) sur données en coupe et une quarantaine de pays, dans la mesure où nous avons pu contrôler justement pour d'éventuels effets pays. Nous pourrions profiter de la taille plus grande de notre échantillon pour nous focaliser sur une sous-population d'États membres homogènes. Enfin, nous pourrions reproduire l'analyse empirique par classe technologique de brevets (plusieurs dizaines de classes sont disponibles au niveau 3 digit dans les données Eurostat) et domaines scientifiques, ce

TABLE 2.3 – Estimation du modèle de production de brevets

Variables ind.	Modèles		
	(1)	(2)	(3)
lpr	0,68*** [0,60 ; 0,76]	0,34*** [0,19 ; 0,49]	0,15*** [0,14 ; 0,17]
ipi		1,89*** [0,58 ; 3,20]	1,81*** [1,64 ; 1,98]
$lpr \times CEpr$		$1,8 \times 10^{-4***}$ [$3,6 \times 10^{-5}$; $3,2 \times 10^{-4}$]	$1,5 \times 10^{-5***}$ [$6,56 \times 10^{-6}$; $2,4 \times 10^{-5}$]
$lpr \times INDI$		$1,8 \times 10^{-4**}$	$6,6 \times 10^{-7***}$ [$4,1 \times 10^{-7}$; $9,1 \times 10^{-7}$]
$lpr \times DI$		<i>ps</i>	$2,4 \times 10^{-6***}$ [$1,0 \times 10^{-6}$; $3,8 \times 10^{-6}$]
Constante	-0,68* [-1,40 ; 0,03]	<i>ps</i>	
Effets-pays	Oui	Oui	Oui
R_a^2	0,27	0,12	0,62
Nombre d'obs.	651	265	258

Note : la variable lpr est les effectifs dans la recherche privée en \log_e . La variable ipi est le niveau de protection de la propriété intellectuelle, prise en logarithme également. Les autres variables, $CEpr$, $INDI$, DI ont été définies dans le texte. Les intervalles de confiance sont à 95%. 'ps' signifie que le coefficient n'est pas significativement différent de zéro. Pour le modèle (1), la statistique du test de Chow ($f = 62,84 > F_{0,05}(27,622) = 1,50$) corrobore l'hypothèse d'effets-pays hétérogènes. Le test rejette également l'hypothèse pour la colonne (2). Dans la colonne (3), la variable des aides indirectes est retardée d'une année.

que permet nos données. Enfin, nous devons tester la robustesse du modèle plus en profondeur.

Chapitre 3

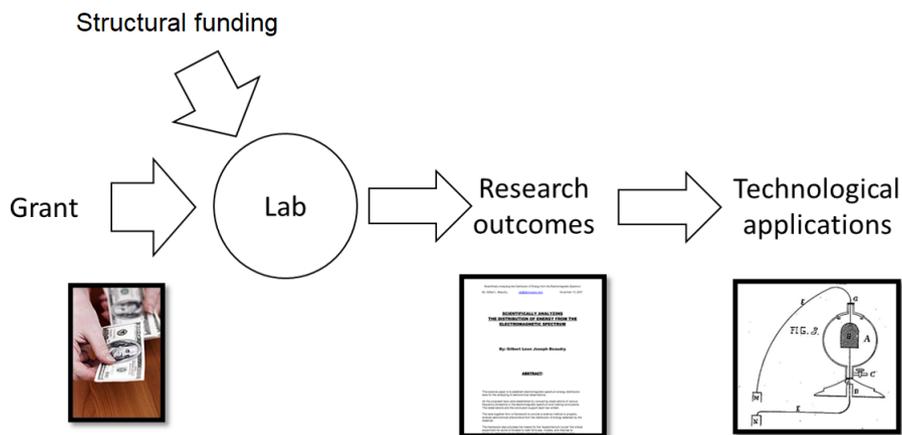
Financement concurrentiel de la recherche publique et innovation des entreprises : une analyse au niveau des laboratoires de recherche

La plupart des études portant sur le lien entre la recherche publique et l'innovation privée se situent du point de vue de l'entreprise, posant alors la question : « Dans quelle mesure les entreprises s'appuient-elles sur la recherche publique dans leurs activités de R&D (Marx & Fuegi 2020) ? Plus rares sont les travaux qui se placent du point de vue des laboratoires de recherche publics posant la question : dans quelle mesure les laboratoires publics produisent-ils des connaissances utiles pour des applications technologiques concrètes développées par les entreprises ? Ce chapitre soulève très précisément cette question, en incluant une interrogation supplémentaire. Parmi les facteurs affectant le type de connaissances produites, les sources de financement sur lesquelles s'appuient ces laboratoires jouent un rôle particulier. En effet, la nature – structurelle ou concurrentielle – du financement produit des incitations hétérogènes aux laboratoires pour déterminer quel type de connaissances, fondamentales ou appliquées (Arora & Gambardella 1994), est finalement produit.

Historiquement, le modèle de financement de la recherche prédominant en Europe a évolué d'une « approche d'institut », dans laquelle les laboratoires sont soutenus par un financement public structurel (Arrow 1959, Nelson 1959), à une approche de « subvention concurrentielle », dans laquelle des chercheurs individuels rédigent des propositions de projet pour obtenir des fonds d'agences de financement nationales ou internationales (Stephan 1996). Le modèle de financement qui devrait être particulièrement efficace pour orienter le type de connaissances produites est le modèle de subvention concurrentielle. En effet, des objectifs spécifiques en termes de type de connaissances produites sont souvent déclarés dans les appels à projet. Par exemple, l'objectif déclaré du programme de financement européen H2020 est de « [...] faire en sorte que l'Europe produise une science de classe mondiale, supprime les obstacles à l'innovation et facilite la collaboration entre les secteurs public et privé pour l'innovation. » Selon cette affirmation, les subventions H2020 semblent être particulièrement orientées vers la production de connaissances appliquées. Concernant « l'approche institut », une bonne partie du financement des laboratoires en Europe repose encore sur des financements globaux transférés de l'État central aux laboratoires de recherche pour payer les salaires des chercheurs, les locaux du laboratoires et les équipements de recherche (Geuna 2001). Ces fonds devraient être moins orientés vers des objectifs spécifiques en termes de type de connaissances produites (Wang et al. 2018).

Ce chapitre vise à évaluer comment l'intensité des subventions concurrentielles utilisées pour soutenir les laboratoires de recherche oriente le type de connaissances produites, notamment en détectant les connaissances produites par les laboratoires publics utilisées dans des inventions brevetées par des entreprises (Figure 3.1). La contribution est double. Premièrement, ce chapitre contribue au domaine émergent de la recherche sur le « financement de la science », en adoptant la perspective originale du laboratoire. La littérature existante sur le financement s'est principalement concentrée sur l'évaluation de l'effet du financement public sur la productivité des chercheurs individuels (Arora & Gambardella 2005, Ayoubi et al. 2019, Carayol & Lanoë 2017, Gush et al. 2015, Jacob & Lefgren 2011), négligeant la dimension collective de la recherche catalysée au niveau du laboratoire. De plus, les recherches existantes se sont concentrées sur la quantité et la qualité des résultats de recherche, négligeant le type de connaissances produites. Parmi les rares études reliant les fonds au type de savoir produit, Azoulay et al. (2019) constatent que les subventions "des National Institutes of Health" (NIH) des États-Unis stimulent la demande de brevets des entreprises pharmaceutiques et biotechnologiques, favorisant ce faisant la prolifération des brevets dans le domaine technologique lié aux projets de recherche financés.¹

FIGURE 3.1 – Représentation heuristique de la question de recherche



Notre seconde contribution concerne la mobilisation d'une mesure originale du type de connaissances produites. Pour ce faire, nous empruntons aux travaux de Ahmadpoor & Jones (2017) qui permettent de mesurer la distance de chaque publication à la frontière technologique. Nous procédons en trois étapes. Dans un premier temps, nous représentons l'ensemble du réseau de citations entre publications scientifiques. Nous identifions ensuite les publications citées par les brevets comme étant situées à la frontière entre science et technologie, ce que nous appelons la frontière technologique. Dans un dernier temps, à partir du réseau de citations entre publications, nous comptons le nombre minimal d'arêtes nécessaires pour effectivement atteindre la frontière technologique. Forts de cette mesure de distance qualifiant chaque publication émanant d'un laboratoire public, nous classons les articles publiés par les laboratoires en quatre catégories selon leur éloignement de la frontière technologique dans le réseau de citation. Les quatre catégories comprennent (i) les articles situés à la frontière technologique, (ii) ceux qualifiés de proches de la frontière technologique, (iii) ceux qualifiés d'éloignés de la frontière

1. La prolifération des brevets dans le domaine pharmaceutique a soulevé de nombreuses critiques relative à une appropriation exacerbée par le secteur privé de connaissances jugées d'utilité publique. Le lecteur curieux pourra se reporter à l'ouvrage critique de Jaffe & Lerner (2011).

technologique et (iv) ceux non connectés à la frontière technologique.

Par rapport à la littérature précédente, la mesure de la distance à la frontière technologique permet une analyse plus fine du type de connaissances produites. En effet, la littérature antérieure a largement utilisé l'activité de brevetage individuel comme indicateur de la production de connaissances appliquées (Azoulay et al. 2019, Babina et al. 2020). Cependant, cette mesure présente des inconvénients. Dans le cadre des laboratoires de recherche publics, la principale incitation pour les chercheurs est d'établir l'antériorité de leurs découvertes avec la publication (Dasgupta & David 1994, Merton 1957), tandis que l'activité de dépôt de brevet est plus rare. De plus, l'activité de dépôt est difficile à retracer dans les organismes de recherche publics qui souvent ne sont pas propriétaires des brevets résultant de l'activité de leurs chercheurs (Lissoni et al. 2008). Un autre inconvénient de l'utilisation de brevets pour mesurer la science appliquée produite par les laboratoires est que les publications de laboratoire peuvent également être cruciales pour l'innovation (Marx & Fuegi 2020) sans pour autant être citées par un brevet. Par conséquent, ne regarder que les inventions brevetées par les membres du laboratoire pourrait sous-estimer la contribution du laboratoire à la recherche appliquée et à l'innovation.

Nous menons notre analyse empirique sur 349 grands laboratoires de recherche dans lesquels des chercheurs universitaires français collaborent avec des chercheurs du CNRS (unités mixtes). Nous étudions ces laboratoires sur la période 2011-2015. Nos résultats montrent que le financement contractuel des laboratoires publics est négativement associé à la part de publications proches de la frontière technologique. Cependant, cet effet est hétérogène entre les subventions nationales et européennes. Alors que les subventions nationales sont associées à une plus faible part de publications proches de la frontière technologique, les financements européens sont associés à une augmentation substantielle des publications proches de la frontière technologique. Autrement dit, si les subventions nationales favorisent la production de sciences fondamentales, les subventions européennes favorisent le développement d'applications technologiques concrètes. Enfin, le fait d'avoir une entreprise parmi les partenaires de la subvention est associé à une augmentation significative de la part des publications situées à la frontière technologique, c'est-à-dire des publications au contenu appliqué le plus immédiat.

Ce chapitre est organisé comme suit. La section 2 décrit le cadre institutionnel français dans lequel l'étude est menée. La section 3 décrit les données, le modèle économétrique estimé et les variables utilisées pour l'analyse empirique. La section 4 présente les résultats des estimations de régression. La section 5 conclut.

3.1 Le financement de la recherche publique en France

Les laboratoires de recherche français ont traversé une période de profonds changements au cours des deux dernières décennies comme cela a été montré au chapitre 2. L'« approche de l'institut » consistant à distribuer des fonds structurels aux laboratoires de recherche publics a été partiellement remplacée par un système de subventions concurrentielles dans lequel les scientifiques individuels sont responsables de la collecte de leurs propres fonds de recherche (Stephan 1996). Ces deux sources de financement présentent chacune des avantages et des inconvénients. Le financement structurel dispense les scientifiques de consacrer un temps considérable à des activités de collecte de fonds aux résultats incertains, les détournant de leurs activités de recherche. Cela réduit la dépendance des chercheurs aux résultats de leurs recherches, les incitant à entreprendre des projets de recherche ambitieux, aux résultats incertains et de longue durée. Toutefois, cette forme de financement peut donner au directeur du laboratoire le pouvoir d'influencer le programme de recherche du laboratoire, en utilisant des fonds pour promouvoir des sujets de recherche spécifiques (Stephan 1996).

Quant au système de subventions concurrentielles, il présente, oui aussi, des avantages et des

inconvenients. Parmi les avantages, les projets proposés par les scientifiques sont évalués par un système d'évaluation par les pairs qui donne plus de poids à la qualité scientifique de la proposition lors de la sélection des projets à attribuer. L'évaluation par un système d'examen par les pairs permet aux scientifiques de développer leurs programmes de recherche indépendamment des axes de recherche du laboratoire. De plus, les décideurs politiques peuvent concevoir des appels pour attirer des projets visant à produire un type spécifique de connaissances. Par exemple, ces dernières années, des agences de financement visant à favoriser l'innovation ont financé des projets scientifiques proches des applications technologiques, incitant souvent à des partenariats d'entreprises. Le système de subventions pousse toutefois les scientifiques à consacrer un temps conséquent à la rédaction de propositions au rendement incertain car potentiellement non retenues. De plus, cela incite les scientifiques à proposer des projets à court terme et à faible risque plus susceptibles d'être financés par des acteurs eux-mêmes avertis au risque, tels que les agences de financement (Stephan 1996, Wang et al. 2017).

En France, le principal bailleur de fonds est l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Elle a été fondée en 2005 et dotée d'un budget annuel d'environ un demi-milliard d'euros. L'ANR a pour objectif de financer des projets de recherche de qualité, proposés par des chercheurs français. L'ANR finance ainsi plus de 1000 projets de recherche par an *via* différents appels à projets génériques ou de recherche sur des thématiques spécifiques. Environ 22% des dossiers de candidature des chercheurs français sont subventionnés.² Par ailleurs, un nouveau programme de subventions, le Programme d'Investissements d'Avenir (PIA), a été créé en 2009 par le président Sarkozy en réponse à la crise économique de 2008. L'État a mis en place ce programme pour financer des investissements innovants et prometteurs afin de resserrer le lien entre la recherche publique et l'application technologique des résultats de la recherche. Parmi les sous-programmes du PIA, trois sont particulièrement pertinents. Premièrement, l'Initiative d'excellence (IDEX), qui a, parmi ses multiples objectifs, celui de favoriser l'innovation et le transfert de technologie entre les universités et les entreprises. Deuxièmement, le LABEX (laboratoires d'excellence) dote les unités de recherche de moyens supplémentaires pour faire émerger des projets scientifiques ambitieux capables d'accroître l'excellence scientifique et la visibilité internationale de la recherche française. Troisièmement, Équipements d'excellence (EQUIPEX) vise à donner aux laboratoires les moyens d'acquérir des équipements scientifiques de pointe pour mener des recherches de haute qualité.³

Bien que la principale source de financement concurrentiel des chercheurs français soit l'ANR, une autre source critique est l'Union européenne (UE). L'UE a proposé au fil des ans plusieurs programmes de financement pour les chercheurs européens. Le 7e PCRD et Horizon 2020 visaient à financer des projets de recherche de rupture reposant sur la collaboration entre des scientifiques de différents pays et travaillant dans des institutions publiques ou privées. Horizon 2020 est un programme de financement de l'UE doté de 77 milliards d'euros sur sept ans, dont 13,1 milliards d'euros ont été attribués à des projets de recherche de scientifiques européens par le Conseil européen de la recherche.⁴ Ces programmes de financement ont prêté attention aux résultats économiques et technologiques immédiats du projet, en favorisant la participation des PME et en tenant compte des implications économiques du projet en termes de croissance économique et de création d'emplois.⁵

2. Sources : <https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/2005-03-08-lagence-nationale-de-la-recherche-adopte-sa-program> et <https://anr.fr/fr/rechercher-un-ancien-appel-a-projets/>.

3. Source : <https://psl.eu/en/university/investments-future-program>.

4. Source : <https://erc.europa.eu/projects-figures/facts-and-figures>.

5. Source : <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/programmes/h2020>.

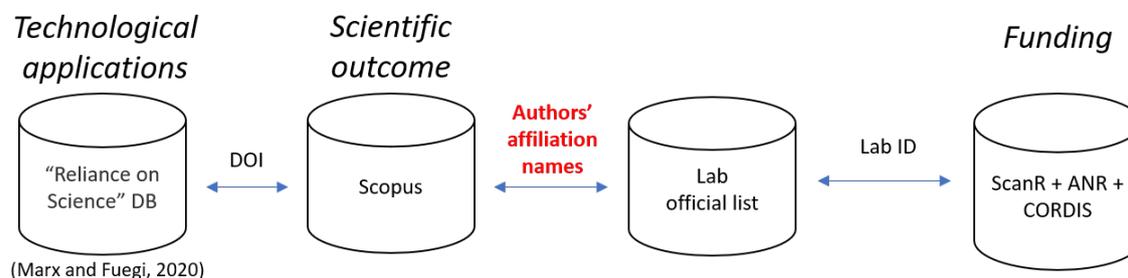
3.2 Données et modèle économétrique

3.2.1 La collecte des données

Notre échantillon d'étude est construit en utilisant diverses sources de données. Dans un premier temps, nous avons collecté les données de financement des laboratoires à partir du moteur de recherche du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (ScanR). Nous avons complété ces données par des informations supplémentaires sur les dates de début et de fin des subventions collectées à partir de la base de données des subventions de l'ANR et de la base de données des subventions de l'UE (le service communautaire d'information sur la recherche et le développement - CORDIS). Ensuite, nous avons fusionné les informations de la subvention avec la liste officielle des laboratoires français fournie par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, en utilisant l'ID du laboratoire comme identifiant unique du laboratoire. Une fois la liste des laboratoires français fusionnée avec les subventions correspondantes, nous avons ensuite fusionné l'ensemble de données résultant avec les données de publication de la base de données bibliométrique SCOPUS. Les publications SCOPUS ont été attribuées aux laboratoires en utilisant comme critère de correspondance le nom du laboratoire déclaré dans la liste du ministère et les noms d'affiliation des auteurs déclarés dans les documents de publication SCOPUS. Enfin, nous fusionnons notre ensemble de données avec la base de données Reliance on Science de Marx & Fuegi (2020) en utilisant l'identificateur d'objet numérique (DOI) des publications comme variable clé. La base de données de Marx et Fuegi fournit des informations fiables sur les brevets citant des articles scientifiques nécessaires pour définir la distance par rapport à la frontière technologique des publications des laboratoires.

À la suite de ces exercices d'appariement, nous avons obtenu un échantillon d'étude qui comprend un panel déséquilibré de 349 laboratoires de 2011 à 2015. Chaque laboratoire est observé en moyenne pendant 4,2 ans. Tous les 349 laboratoires sont des Unités Mixtes de Recherche, dans lesquels des chercheurs universitaires français collaborent avec des chercheurs du CNRS. Nous avons limité notre échantillon aux laboratoires présentant une taille minimale, c'est-à-dire plus de dix chercheurs actifs chaque année pendant la période d'observation, et un niveau de productivité minimum, c'est-à-dire au moins dix publications rédigées par les affiliés du laboratoire chaque année de la période d'observation. Parmi les 349 laboratoires, 57 laboratoires sont classés en chimie (16,33%), 41 en informatique et mathématiques (11,75%), 127 en sciences de la santé et de la vie (36,4%) et 124 en physique et ingénierie (35,53%).⁶

FIGURE 3.2 – La collecte des données de diverses sources



6. Pour attribuer une discipline à chaque laboratoire, nous avons retenu la discipline Scopus dont la fréquence mentionnée dans les publications du laboratoire est la plus élevée.

3.2.2 Le modèle économétrique

Le modèle présenté dans l'équation 3.1 met en relation l'intensité du financement par subvention concurrentiel du laboratoire i au cours de l'année $t-1$ (\mathbf{F}) avec la part \mathbf{Y} des connaissances avec application technologique produite par ce laboratoire au cours de l'année t . L'intensité du financement de subvention est donnée par le nombre de subventions obtenues par le laboratoire rapportée au nombre de chercheurs.

$$\mathbf{Y}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \mathbf{F}_{it-1} + \beta_2 \mathbb{I}_{E,it-1} + \beta_3 \mathbf{X}_{it-1} + \delta_t + \gamma_i + \epsilon_{it} \quad (3.1)$$

Dans le modèle (3.1), les coefficients β_1 et β_2 représentent les paramètres d'intérêt. Le vecteur \mathbf{Y} représente différents types de savoirs produits par le laboratoire, déclinés selon leur proximité à la frontière technologique : (i) parts des articles situés à la frontière technologique, (ii) ceux proches de la frontière technologique, (iii) ceux situés loin de la frontière technologique, et (iv) ceux non connecté à la frontière technologique. Nous imposons un retard temporel d'une année pour les variables de financement par subventions concurrentielles (le vecteur \mathbf{F}), puis à celle du partenariat avec l'entreprise (l'indicatrice \mathbb{I}_E), pour tenir compte du retard probable entre le mode de financement et l'effet de ce dernier sur la production de connaissances du laboratoire. Pour éviter les biais d'estimation dûs à des variables manquantes, le modèle comprend un vecteur \mathbf{X} de caractéristiques du laboratoire (également avec un retard temporel d'une année) et un vecteur δ d'effets fixes année. De plus, pour remplacer les caractéristiques de laboratoire non observables qui pourraient expliquer la part de connaissances produites dans chacune des quatre catégories, le modèle inclut une valeur moyenne de pré-échantillon de la variable dépendante ("Pre-Sample Mean" en Anglais, soit PSM_i). Cette variable permet de contrôler de l'effet de l'hétérogénéité non observée γ_i des laboratoires sur nos résultats.⁷

La variable dépendante

Pour mesurer la part des connaissances avec les applications technologiques produites par le laboratoire i à l'année t , nous empruntons à [Ahmadpoor & Jones \(2017\)](#), et définissons la frontière entre la science et la technologie à l'aide de réseaux de publications et de citations de brevet. Plus précisément, ils reconstruisent le réseau de citations de tous les documents de publication indexés dans l'ensemble de données bibliométriques Web of Science et l'ensemble du réseau de citations de brevets de l'USPTO. Ils relient la publication et les réseaux de citation de brevets en identifiant les brevets citant les documents de publication.

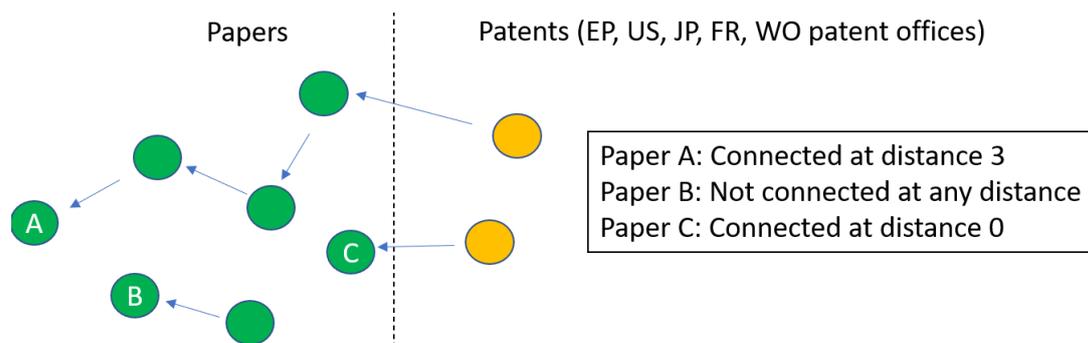
Nous identifions l'ensemble des 90 227 articles scientifiques publiés par des chercheurs affiliés aux 349 laboratoires considérés dans notre analyse entre 2011 et 2015 et indexés dans la base de données bibliométrique Scopus. Ensuite, nous identifions la position de ces articles dans le réseau de citation des publications. Enfin, nous calculons pour chaque article le nombre minimum d'arêtes dans le réseau de citation à l'article le plus proche cité par un document de brevet.⁸ Pour donner à chaque article le même laps de temps pour collecter les citations en aval d'autres documents de publication, nous considérons uniquement la citation d'articles et de brevets publiés dans une fenêtre temporelle allant de t à $t+5$, où t est l'année de publication de l'article pour lequel nous visons à calculer la distance à partir de l'article le plus proche cité par un document de brevet. Nous interprétons cette distance comme la distance d'une publication à la frontière technologique. La figure 3.3 présente un exemple intuitif de la distance D calculée.

7. Nous pensons notamment à celle liée à la tendance historique du laboratoire à produire des connaissances avec (ou sans) des applications technologiques.

8. Nous examinons les documents de brevet dans deux offices de brevets : l'OEB et l'USPTO. Pour identifier les citations de brevets à articles, nous nous appuyons sur la base de données de citations fournie par [Marx & Fuegi \(2020\)](#).

Concrètement, nous calculons le chemin le plus court en termes de pas (ou d'arêtes) de citations entre la publication focale et la publication citée par un brevet, ce dernier représentant la frontière technologique. Dans l'exemple rapporté sur la figure, la publication *A* est à une distance de trois pas d'une publication citée par un brevet. La publication *B* n'est pas connectée à la frontière technologique ; La publication *C* est à distance zéro car elle est directement citée par un brevet.

FIGURE 3.3 – Modalités de calcul de la distance des publications au brevet



Nous constatons que 38 355 des 90 227 articles (42,5%) publiés par des chercheurs français affiliés aux 349 laboratoires de notre échantillon d'étude sont connectés à une distance finie à la frontière technologique. La figure 3.4 montre la distribution de la variable discrète D , pour les 38 355 articles connectés. Nous identifions quatre grandes catégories d'articles. La première catégorie sont les articles à la frontière technologique. Ces articles sont ceux cités par un document de brevet (distance 0 de la frontière). La deuxième catégorie regroupe les articles proches de la frontière technologique. Ces articles sont à une distance de 1, 2 ou 3 bords de la frontière technologique. La troisième catégorie sont les articles éloignés de la frontière technologique. Ces articles sont connectés à la frontière technologique mais à une distance de 4 ou plus. Enfin, la quatrième catégorie sont les articles non liés à la frontière technologique. Ces articles sont à une distance infinie de la frontière technologique.

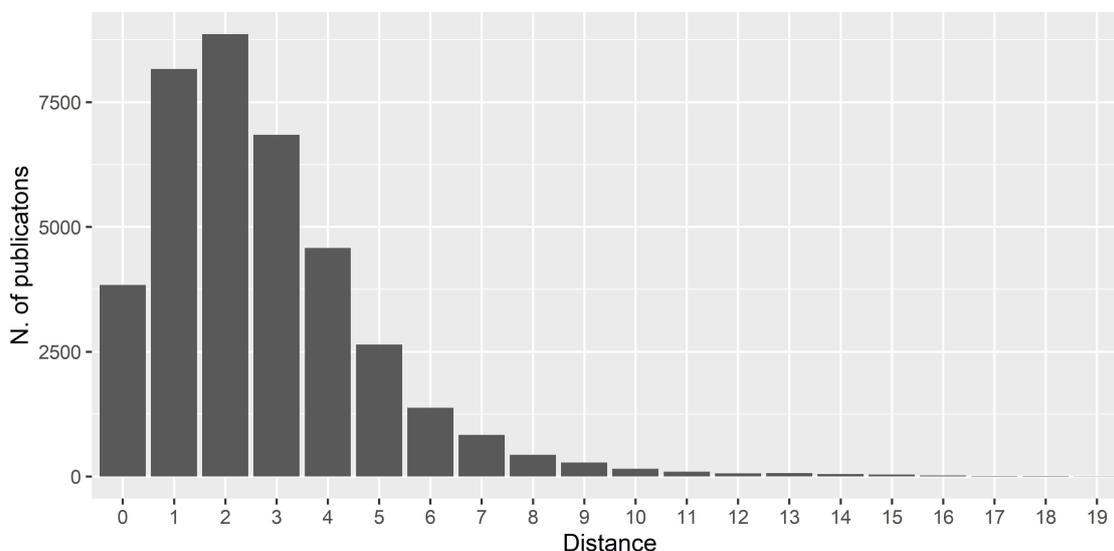
Sur la base des quatre types d'articles, nous calculons quatre variables dépendantes pour caractériser les connaissances produites par le laboratoire i au cours de l'année t . Plus précisément, nous définissons la variable $\text{Part } D = 0$ comme la proportion d'articles à la frontière technologique publiés dans le laboratoire i pour l'année t . Cette variable est exprimée en pourcentage, et varie donc, potentiellement, de 0 à 100. De même, nous définissons les variables : $\text{Part } D \in [1-3]$ qui recensent la proportion de publications proches de la frontière technologique ; $\text{Part } D > 4$ répertoriant la proportion de publications dites éloignées de la frontière technologique ; $\text{Part } NC$ comptant la proportion de publications non connectées à frontière technologique ($D \geq 20$).

Les variables indépendantes

Nous considérons trois variables pouvant caractériser l'intensité du financement de la subvention concurrentiel. La première est la variable N . subventions pour 100 chercheurs. Elle représente le nombre de subventions actives du laboratoire i en $t - 1$ divisé par le nombre de chercheurs actifs de ce laboratoire au cours de la même année. Une subvention est considérée comme active en $t - 1$ si elle a débuté en $t - 1$ ou si elle a expiré en $t - 1$.⁹ Nous définissons les

9. Nous avons des informations concernant la date d'attribution et d'expiration pour presque toutes les subventions. Lorsque cette information est manquante, nous attribuons la durée moyenne de la subvention dans

FIGURE 3.4 – Distribution des publications en fonction de la distance à la frontière



chercheurs actifs comme ceux qui ont rédigé au moins un article avec l’affiliation du laboratoire i en $t - 1$ ou $t - 2$.¹⁰ Le rapport entre le nombre de contrats actifs et le nombre de chercheurs actifs est souvent faible. Par conséquent, lors du calcul de la variable N. subventions par chercheur, nous multiplions le ratio par 100. Nous interprétons ainsi la variable comme représentant le nombre de subventions actives pour 100 chercheurs.

Les deuxième et troisième indicateurs de l’intensité du financement des subventions sont calculés pour séparer l’effet des subventions nationales de celui des subventions européennes. La variable visant à mesurer l’intensité des subventions nationales pour le laboratoire i à l’année $t - 1$ est N. subventions nationales pour 100 chercheurs. Il est calculé de manière similaire à la variable N. bourses pour 100 chercheurs, mais le numérateur du rapport entre bourses actives et chercheurs actifs ne prend en compte que les bourses octroyées par l’ANR.¹¹ La variable N. subventions UE pour 100 chercheurs mesure l’intensité des subventions européennes pour le laboratoire i à l’année $t - 1$ et est calculée selon la même logique que N. subventions nationales pour 100 chercheurs. Pour considérer le partenariat d’une entreprise privée au sein de la subvention, partenariat d’entreprise dans l’équation 3.1, nous définissons l’indicatrice (\mathbb{I}_E) égale à l’unité si au moins une entreprise est répertoriée parmi les partenaires de l’une des subventions actives dans le laboratoire i dans année $t - 1$, 0 sinon.

Les variables de contrôle

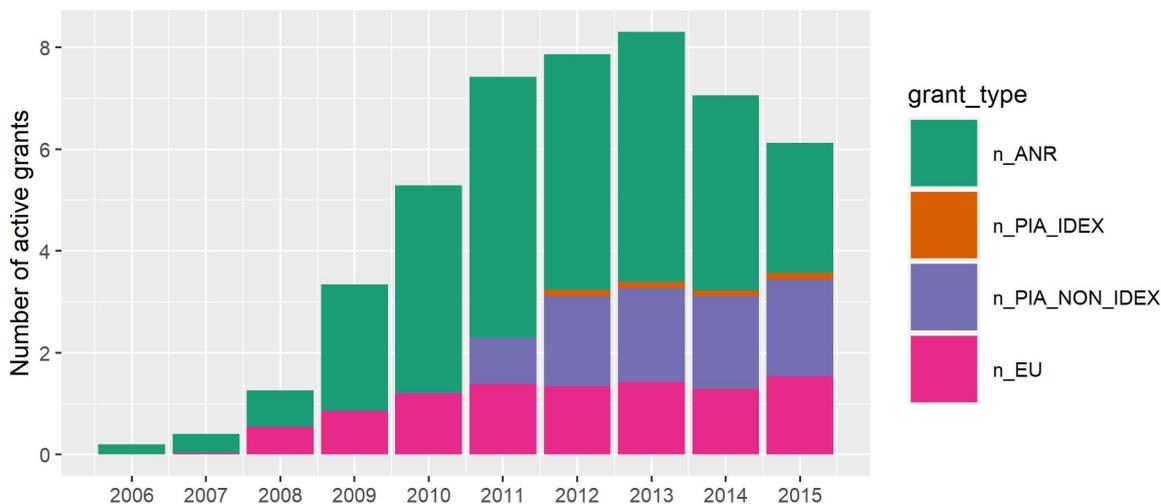
Concernant les variables de contrôle, nous incluons dans toutes les régressions la productivité des chercheurs du laboratoire en $t - 1$ (N. publications pour 100 chercheurs), les années écoulées depuis la fondation du laboratoire (Age), le nombre de chercheurs ayant rédigé au moins un

notre échantillon.

10. Nous avons considéré d’autres période de temps, comme par exemple $t - 1$ seulement, ou bien de $t - 1$ à $t - 3$, ou enfin de $t - 1$ à $t - 4$. Les résultats de notre régression sont stables dans toutes les définitions de chercheurs actifs. Les résultats présentés ici ne sont pas sensibles à ces choix.

11. Ces bourses comprennent les bourses individuelles ANR et les bourses PIA (Labex, Equipex et IDEX). Les subventions PIA ne sont observées qu’à partir de 2010, lorsque le gouvernement français a lancé le programme « Investissements d’avenir ».

FIGURE 3.5 – Nombre de contrats en cours de réalisation, par année



article avec l’affiliation du laboratoire en $t - 1$ ou $t - 2$ (Taille) et le nombre de disciplines Scopus dans lesquelles les chercheurs du laboratoire publient activement en $t - 1$ (Diversité scientifique). De plus, nous incluons la variable muette Institut Carnot, égale à l’unité si le laboratoire fait partie du réseau Carnot, 0 sinon. Cette variable indique que le laboratoire est orienté vers des activités d’innovation : « Le Label Carnot est accordé aux structures publiques de recherche, instituts Carnot, disposant de compétences R&I éprouvées et de haut niveau dédiées à favoriser l’innovation avec des partenaires industriels ». ¹² Le tableau (3.1) présente une brève description des variables dépendantes et indépendantes.

Le tableau (3.2) présente des statistiques descriptives des variables dépendantes et indépendantes. Il montre qu’en moyenne 5,89% des articles publiés se situent à la frontière technologique (Part $D = 0$), 28,28% sont proches de la frontière technologique (Part $D \in [1 - 3]$), 11,37% sont situées loin de la frontière technologique (Part $D \geq 4$), et 55,66% sont à une distance infinie de la frontière technologique (Part NC). La somme des quatre moyennes est égale à 100%, chaque publication de laboratoire étant classée dans l’une des quatre catégories. Concernant les variables explicatives, on observe 9,33 subventions concurrentielles en moyenne, dont 7,95 bourses nationales et 1,38 bourses européennes.

Les tableaux (3.3) et (3.4) présentent les valeurs moyennes des variables dépendantes et indépendantes par année. Les moyennes des variables Part $D = 0$, Part $D \in [1 - 3]$, Part $D \geq 4$ et Part NC n’affichent aucune tendance temporelle spécifique. Dans le tableau (3.4), nous observons une augmentation des subventions concurrentielles des laboratoires français. Leur augmentation est principalement due à la hausse des subventions nationales, alors que le nombre moyen de subventions européennes est resté stable dans le temps. Cette augmentation des subventions nationales est liée aux nouveaux programmes de financement tels que PIA, IDEX, LABEX, EQUIPEX, mis en place par l’État français cette dernière décennie.

12. Source : <https://www.instituts-carnot.eu/en/carnot-label>.

TABLE 3.1 – Liste des variables mobilisées

<i>Variable dépendante</i>	
Part $D = 0$ [%]	Part des contributions publiées l'année t citées par des brevets. Ces publications sont à une distance $D = 0$ de la frontière technologique et sont considérées comme étant situées à la frontière technologique.
Part $D \in [1 - 3]$ [%]	Part des contributions publiées l'année t citées par des brevets, à une distance D de 1, 2, or 3 arcs dans le réseau de citations. Ces publications sont considérées comme étant proches de la frontière technologique.
Part $D >= 4$ [%]	Part des contributions publiées l'année t citées par des brevets, à une distance D supérieures à 4 arcs dans le réseau de citations. Ces publications sont considérées comme étant lointaines de la frontière technologique.
Part NC [%]	Part des contributions publiées l'année t qui ne sont pas citées par des brevets ($D > 20$). Ces publications sont considérées comme étant non connectées à la frontière technologique.
<i>Variable dépendante</i>	
N. contrats	Nombre de contrats en cours d'exécution l'année $t - 1$, pour 100 chercheurs. Un incrément d'une unité de la variable correspond à un contrat supplémentaire pour 100 chercheurs.
N. cont. nat.	Nombre de contrats nationaux en cours d'exécution l'année $t - 1$, pour 100 chercheurs. Un incrément d'une unité de la variable correspond à un contrat national supplémentaire pour 100 chercheurs. Cette variable peut être déclinée au niveau des ANR et des PLA.
N. cont. EU	Nombre de contrats européens en cours d'exécution l'année $t - 1$ pour 100 chercheurs. Un incrément d'une unité de la variable correspond à un contrat européen supplémentaire pour 100 chercheurs.
Entreprise (\mathbb{I}_E)	Variable muette égale à l'unité si au moins une entreprise est partenaire du laboratoire dans au moins un contrat listé pour l'année $t - 1$.
Institut Carnot	Variable muette égale à l'unité si le laboratoire est membre de l'Institut Carnot.
N. publications	Nombre de contributions publiées l'année $t - 1$ pour 100 chercheurs () Number of lab's articles published in year $t-1$ divided by the number of affiliates to the lab (lab size). The variable's value is rescaled multiplying by 100, i.e., each unit increases corresponds to 1 additional paper every 100 researchers.
Age	Age du laboratoire.
Taille	Nombre de chercheurs affiliés au laboratoire ayant publié les années $t - 1$ et $t - 2$.
Diversité scientifique	Nombre de disciplines SCOPUS dans lesquelles les chercheurs affiliés du laboratoire ont publiés l'année $t - 1$.

TABLE 3.2 – Statistiques descriptives. ($N = 1460$)

	Mean	St.D.	p_{25}	p_{50}	p_{75}	Min	Max	$\%N > 0$
<i>Variable dépendante</i>								
Part $D = 0$ [%]	4.69	5.89	0.00	2.70	6.90	0.00	40.63	0.69
Part $D \in [1 - 3]$ [%]	28.28	18.60	13.33	25.55	40.74	0.00	80.77	0.96
Part $D >= 4$ [%]	11.37	10.89	3.85	8.00	15.63	0.00	66.67	0.91
Part NC [%]	55.66	24.05	36.71	55.71	75.99	0.00	100.00	1.00
<i>Variables indépendantes</i>								
N. contrats	9.33	8.49	4.75	7.84	11.85	0.00	143.40	0.95
N. cont. nat.	7.95	7.43	3.81	6.67	10.15	0.00	107.55	0.94
N. cont. EU	1.38	2.19	0.00	0.80	2.04	0.00	35.85	0.56
Entreprise (\mathbb{I}_E)	0.63 (0.67)	0.48	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.63
Institut Carnot	0.03	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.03
N. publications	86.34	32.89	64.03	81.25	100.58	25.45	330.12	1.00
Age	12.83	9.02	5.00	14.00	17.00	2.00	75.00	1.00
Taille	115.17	73.16	64.00	96.00	144.00	11.00	482.00	1.00
Diversité scientifique	11.17	3.69	9.00	11.00	13.00	2.00	26.00	1.00

NOTES. L'unité d'observation est le laboratoire-année. NC : Laboratoires non connectés. Concernant la variable muette "Entreprise", nous reportons entre parenthèses sa moyenne conditionnellement au fait que le laboratoire ait au moins un contrat de recherche en cours.

TABLE 3.3 – Dynamique de variable de distance D , par catégorie de distance et par année

Année	Part $D = 0$ [%]	Part $D \in [1 - 3]$ [%]	Part $D \geq 4$ [%]	Part NC [%]
2011	4.90	25.80	11.41	57.89
2012	4.91	28.39	11.01	55.69
2013	4.72	29.90	11.34	54.04
2014	4.92	31.19	11.98	51.91
2015	4.08	25.68	11.07	59.16
Moyenne générale	4.69	28.28	11.37	55.66

NOTES. NC : Laboratoires non connectés.

TABLE 3.4 – Dynamique des contrats en cours d'exécution, par laboratoire, par type et par année

Année	N. contrats	N. cont. nat.	N. cont. EU	Ent. (\mathbb{I}_E)
2011	5.71	4.46	1.25	0.55
2012	9.43	7.89	1.53	0.66
2013	10.03	8.65	1.39	0.64
2014	10.18	8.83	1.35	0.67
2015	10.61	9.23	1.39	0.62
Moyenne générale	9.33	7.94	1.38	0.63

NOTES. N. contrats : Nombre de contrats en cours d'exécution pour 100 chercheurs. N. cont. nat. : Nombre de contrats dont le financement est national, en cours d'exécution pour 100 chercheurs. N. cont. EU : Nombre de contrat dont le financement est européen, en cours d'exécution pour 100 chercheurs. Ent. (\mathbb{I}_E) : Nombre de contrats impliquant une entreprise, en cours d'exécution pour 100 chercheurs.

3.3 Résultats

3.3.1 Les résultats de base

Le tableau (3.5) présente les estimations de l'équation (3.1) effectuées par les moindres carrés généralisés (MCG). Nous effectuons deux séries de régressions. Dans les colonnes (1), (2), (3) et (4), nous considérons comme variables dépendantes la transformation log des variables $Part\ D = 0$, $Part\ D \in [1 - 3]$, $Part\ D \geq 4$ et $Part\ NC$. Pour tenir compte des valeurs nulles, nous ajoutons 1 avant de calculer le logarithme népérien. Comme variables explicatives, nous considérons *N. de subventions pour 100 chercheurs* et *Au moins une entreprise*. Dans les colonnes (5), (6), (7) et (8), nous distinguons les subventions nationales et européennes.

Nous constatons que l'augmentation d'un écart type (8,49 subventions) de l'intensité du financement des subventions de laboratoire est associée à une part inférieure de 5,4% d'articles proches de la frontière technologique (colonne 2).¹³ L'intensité des subventions n'a aucun impact sur les publications à la frontière technologique (colonne 1), loin de la frontière technologique (colonne 3), et à une distance infinie de la frontière technologique (colonne 4). Lorsqu'on regarde la présence d'une entreprise parmi les boursiers, on constate qu'elle est associée à une augmentation de 12% de la part des publications à la frontière technologique (Colonne 1) et à une augmentation de 10% de la part des publications proche de la frontière technologique (colonne 2). La présence d'une entreprise n'est pas significativement associée à la part des publications éloignées et à une distance infinie de la frontière technologique.

Lorsque nous dissociions les subventions nationales et européennes, nous constatons qu'une augmentation d'un écart type (6,43 subventions nationales) de l'intensité du financement des subventions nationales de laboratoire est associée à une part inférieure de 9,0% de publications proches de la frontière (colonne 6) et à une part plus élevée de publications à distance infinie (colonne 8). En revanche, l'intensité nationale des subventions n'est pas associée à la part des publications à la frontière technologique (colonne 5) et à la part des publications éloignées de la frontière technologique (colonne 7). En augmentant d'un écart-type (2,19 bourses européennes) l'intensité des financements européens est associée à une augmentation de 8,3% des publications proches de la frontière et à une diminution de 5,9% de la part des publications à distance infinie. À l'instar de l'intensité nationale des subventions, nous ne trouvons pas d'association significative avec la part des publications à la frontière technologique et avec la part des publications loin de la frontière technologique. La présence d'une entreprise en tant que partenaire de subvention est associée à une part plus élevée de 12% de publications à la frontière technologique (colonne 5).

Concernant les variables de contrôle, nous constatons qu'une augmentation de 1% de la productivité du laboratoire est associée à une diminution de 0,2% de la part de publication à la frontière technologique, tandis qu'une augmentation de 1% de l'âge du laboratoire est associée à un 0,072% de diminution de la part de la publication à la frontière technologique (colonne 1). Ces résultats pourraient être motivés par la tendance des chercheurs à faire moins de recherche appliquée dans des laboratoires productifs ayant une longue histoire. De même, une augmentation de 1% de la taille du laboratoire est associée à une réduction de 0,14% de la part des publications non liées à la frontière technologique (colonne 4). Ce résultat montre que les grands laboratoires ont tendance à diminuer le niveau de recherche fondamentale effectuée. Enfin, une augmentation de 1% du nombre de disciplines dans lesquelles les chercheurs de laboratoire sont actifs augmente de 0,22% la part des publications non liées à la frontière technologique. Cette augmentation pourrait s'expliquer par la tendance de la recherche interdisciplinaire à être davantage de la recherche fondamentale.

13. La valeur -5,4% résulte du produit $-0,0064 \times 8,49$, où -0,0064 est le coefficient N. contrats pour 100 res., et la valeur 8,49 n'est autre que l'écart type de la variable.

TABLE 3.5 – Financement contractuel de la recherche publique et publications citées par les brevets. Variable dépendante : Transformée logarithmique du nombre de publications selon la distance aux brevets. (Moindres carrés généralisés, $N = 1460$)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Distance aux brevets	$D = 0$	$D \in [1 - 3]$	$D \geq 4$	NC	$D = 0$	$D \in [1 - 3]$	$D \geq 4$	NC
N. contrats	-0.00033	-0.0064**	-0.0045	0.0028				
N. cont. nat.					0.00035	-0.014***	-0.0038	0.0079***
N. cont. EU					-0.0042	0.038***	-0.0088	-0.027**
Entreprise (I_E)	0.12**	0.10**	0.039	0.035	0.12**	0.072	0.043	0.056
Institut Carnot	0.15	-0.0039	-0.025	0.087	0.15	-0.007	-0.024	0.091
log(N. pubs)	-0.20***	-0.032	0.034	0.063	-0.19***	-0.05	0.035	0.077
log(age)	-0.072*	0.0094	0.041	-0.016	-0.072*	0.012	0.041	-0.017
log(taille)	0.096	0.007	-0.081	-0.14***	0.097	-0.011	-0.08	-0.13***
log(Diversité scientifique)	-0.0068	-0.0021	0.024	0.22***	-0.0095	0.031	0.021	0.20***
Constant	0.89**	0.79**	1.02***	1.05**	0.89**	0.86***	1.02***	1.02**
R^2	0.474	0.675	0.422	0.591	0.474	0.684	0.422	0.603

NOTES. Erreurs standards robustes. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Toutes les régressions comportent un vecteur complet d'effets fixes année. L'effet fixe "Laboratoire" est capté par l'inclusion dans le vecteur de régresseurs de la moyenne de la variable dépendante pré-échantillon (2005-2010).

3.3.2 Extensions

Pour tester la robustesse de nos résultats, nous considérons une approche différente dans le calcul de nos variables dépendantes. Plus précisément, nous calculons la distance par rapport à la frontière technologique en excluant les brevets détenus par les universités, les hôpitaux et les organismes de recherche publics. L'idée est de ne considérer que les connaissances qui ont été utilisées par les entreprises privées, et d'exclure ces citations représentant des effets de proximité entre chercheurs et inventeurs issus de la même communauté scientifique. Cette amendement ne change pas nos conclusions. En effet, nous constatons que 39,38% des 90 227 publications sont connectées à une distance finie (en considérant les universités, les hôpitaux et les organismes publics de recherche, ce pourcentage était de 42,5%). Ensuite, nous calculons les quatre variables dépendantes en fonction de la nouvelle mesure de distance, et nous exécutons les exercices de régression avec la même spécification de modèle que dans le tableau (3.5).

Le tableau (3.6) montre les résultats. Concernant notre variable d'intérêt, N. subventions pour 100 chercheurs, N. subventions nationales pour 100 chercheurs et N. subventions UE pour 100 chercheurs, nous trouvons des résultats similaires à ceux rapportés dans le tableau (3.5). Fait intéressant, le coefficient de la variable muette *Institut Carnot* est désormais positif et significatif dans les colonnes (9) et (13). Ainsi, être dans le réseau Carnot est associé à une part plus élevée de publications à la frontière technologique (colonnes 9 et 13) et à une part plus élevée de publications non connectées à la frontière (colonne 12 et 16). Si le résultat des colonnes (9) et (13) est attendu, étant cohérent avec la mission du réseau Carnot de favoriser les activités innovantes et la collaboration avec les entreprises, le résultat des colonne (12) et (16) l'est moins. Il suggère que les laboratoires du réseau Carnot sont également orientés vers la production de sciences fondamentales.

Comme deuxième contrôle de robustesse, dans le tableau (3.7), nous distinguons l'intensité des deux programmes de financement les plus importants en France au cours de la période d'étude : le programme de financement ANR et le programme de financement PIA. La colonne (18) rapporte un effet négatif de l'intensité des subventions ANR sur la part des publications proches de la frontière technologique, mais aucun effet de l'intensité des subventions PIA. Ce résultat montre que l'effet négatif de la variable N. subventions nationales pour 100 chercheurs sur la part des publications proches du fonds frontière technologique dans le tableau (3.5, colonne 6) est principalement induit par les subventions ANR. Au contraire, les subventions ANR et PIA montrent une association positive avec la production d'articles non liés à la frontière technologique (tableau 3.7, colonne 19). Ce résultat est cohérent avec le coefficient positif de la variable N. subventions nationales pour 100 chercheurs dans le tableau (3.5, colonne 8).

3.4 Conclusion

Ce chapitre a examiné comment les subventions concurrentielles accordées à la recherche scientifique affectent le type de connaissances produites par les laboratoires de recherche publics français. Analysant 349 laboratoires sur la période 2011-2015, nous avons classé les connaissances produites en quatre catégories : les connaissances situées à la frontière technologique, celles proches de la frontière technologique, celles situées loin de la frontière technologique et celles non connectées à la frontière technologique. Nous constatons que le financement concurrentiel est négativement associé à la production de connaissances proches de la frontière technologique. Les subventions nationales et européennes présentent des effets hétérogènes. Si les subventions nationales montre une association négative avec la production de connaissances aux applications immédiates, les subventions européennes favorisent la production de connaissances proche de cette frontière. Ce résultat suggère que les subventions nationales sont davantage orientées

vers la production de savoirs fondamentaux, tandis que les subventions de l'UE favorisent la production de connaissances plus appliquées. Ainsi, nous constatons qu'une intensité plus élevée de subventions nationales est associée à une part plus élevée d'articles en sciences fondamentales non liés à la frontière technologique, tandis que l'intensité des subventions européennes est associée à une part plus faible de ces articles. Fait intéressant, la présence d'une entreprise parmi les partenaires de la subvention est positivement associée à la production de connaissances à la frontière technologique.

L'étude des effets du financement sur le type de connaissances produites par les laboratoires de recherche publics est pertinente d'un point de vue de la politique scientifique d'un pays. Notre recherche met en lumière les effets du changement du modèle de financement de la recherche publique, changements dont il est fait état dans les chapitres précédents. En effet, le modèle de financement de la recherche prédominant en Europe a évolué d'une « approche d'institut », dans laquelle les laboratoires sont financés par des fonds structurels, à une approche de « subvention concurrentielle », dans laquelle les chercheurs individuels recherchent des fonds en rédigeant des propositions de projet pour obtenir des fonds d'agences de financement nationales (Stephan 1996). Selon nos résultats, le mécanisme de financement concurrentiel ne conduit pas à plus de recherche appliquée. En revanche, l'incitation au partenariat public-privé est de toute évidence une voie qui intensifie le lien entre science et industrie. La modalité concurrentielle est une modalité plus flexible et plus propice à la transmission des choix politiques d'innovation mais elle doit clairement être utilisée à cette fin par des appels thématiques et plus contraints en matière de partenariats. Néanmoins, il faut se garder de conclure que la recherche fondamentale porte un rendement social inférieur. Elle reste clé pour augmenter le stock de connaissances et peut s'avérer critique pour la création de leadership technologique. Arora et al. (2021) montrent ainsi que les entreprises qui s'emparent des premières des résultats scientifiques capturent la rente d'innovation. Il faut sans doute orienter plus les entreprises vers la recherche fondamentale en les incitant aux partenariats avec les organismes de recherche publique.

Les décideurs pourraient utiliser la conception de programmes de financement par subventions concurrentielles comme des instruments de politiques scientifique pour "diriger les changements techniques", non pas vers des domaines technologiques particuliers (Acemoglu et al. 2006), mais vers des types de savoirs émis par les laboratoires de recherche publics, et ce afin de faciliter leur adoption par les entreprises et leur diffusion au sein du tissu productif.

TABLE 3.6 – Financement contractuel de la recherche publique et publications citées par les brevets d'entreprise. Variable dépendante : Transformée logarithmique du nombre de publications selon la distance aux brevets d'entreprise. (Moindres carrés généralisés, $N = 1460$)

	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
Distance aux brevets	$D = 0$	$D \in [1 - 3]$	$D >= 4$	NC	$D = 0$	$D \in [1 - 3]$	$D >= 4$	NC
N. contrats	-0.0031	-0.0079***	-0.0035	0.0012				
N. cont. nat.					-0.0025	-0.016***	-0.0037	0.0059*
N. cont. EU					-0.0067	0.039***	-0.0019	-0.027**
Entreprise (\mathbb{I}_E)	0.14***	0.099**	0.031	-0.0042	0.14***	0.065	0.03	0.019
Institut Carnot	0.24***	0.05	-0.22	0.12*	0.24***	0.046	-0.22	0.13*
$\log(N. pubs)$	-0.21***	-0.016	-0.083	0.28***	-0.21***	-0.036	-0.084	0.29***
$\log(age)$	-0.15***	-0.012	0.089**	0.050*	-0.15***	-0.0098	0.089**	0.049*
$\log(taille)$	0.045	-0.014	-0.0068	-0.083*	0.047	-0.032	-0.0072	-0.076
$\log(Diversité scientifique)$	-0.067	0.025	0.058	0.26***	-0.07	0.059	0.059	0.24***
Constant	1.46***	0.72**	1.02***	2.91***	1.45***	0.80**	1.03***	2.87***
R^2	0.354	0.665	0.422	0.261	0.354	0.674	0.422	0.274

NOTES. Erreurs standards robustes. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Toutes les régressions comportent un vecteur complet d'effet fixe année. L'effet fixe "Laboratoire" est capté par l'inclusion dans le vecteur de régresseurs de la moyenne de la variable dépendante pré-échantillon (2005-2010).

TABLE 3.7 – Financement contractuel de la recherche publique et publications citées par les brevets, et type de financement ANR, PIA, et EU. Variable dépendante : Transformée logarithmique du nombre de publications selon la distance aux brevets d'entreprise. (Moindres carrés généralisés, $N = 1460$)

	(17)	(18)	(19)	(20)
Distance aux brevets	$D = 0$	$D \in [1 - 3]$	$D \geq 4$	NC
N. cont. ANR	-0.000085	-0.017***	-0.0096*	0.0061**
N. cont. PIA	0.0029	0.0043	0.029**	0.018*
N. cont. EU	-0.0039	0.040***	-0.005	-0.025***
Entreprise (I_E)	0.12**	0.068	0.035	0.053
Institut Carnot	0.15	0.0027	-0.004	0.096
log(N. pubs)	-0.20***	-0.055	0.031	0.074
log(age)	-0.072*	0.012	0.042	-0.018
log(taille)	0.10*	0.0099	-0.044	-0.11***
log(Diversité scientifique)	-0.0093	0.031	0.022	0.20***
Constant	0.88***	0.81**	0.90**	0.97***
R^2	0.474	0.686	0.426	0.605

NOTES. Erreurs standards robustes. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Toutes les régressions comportent un vecteur complet d'effets fixes année. L'effet fixe "Laboratoire" est capté par l'inclusion dans le vecteur de régresseurs de la moyenne de la variable dépendante pré-échantillon (2005-2010).

Quelles recommandations ?

Il n'est jamais simple de traduire les résultats des études en recommandations de politique publique, qui plus est dans un domaine qui a fait l'objet de tant de réflexions institutionnelles.

Comme il a été souligné en introduction, de nombreux rapports se sont penchés sur la question de la définition des politiques d'innovation. La somme des recommandations de ces rapports depuis 10 ans peut conduire à une certaine lassitude et découragement. Que n'a-t-on pas déjà dit, que n'a-t-on pas essayé ?

Vingt ans après l'agenda de Lisbonne et la succession de rapports et de commissions préconisant l'intensification des investissements dans la recherche, aucun changement d'envergure notable n'est à relever.

Concernant la recherche publique, la mise en oeuvre des PIA a sans doute été la plus grande réforme récente, ayant été précédé par deux autres réformes conséquentes : celle mettant en place les pôles de compétitivité — qui mobilisaient surtout les acteurs privés — et celle mettant en place l'ANR. Ces réformes ont clairement conduit à augmenter la part des mécanismes de financement concurrentiel mais celle-ci reste plus faible relativement à ce qui s'observe dans les autres pays.

Dix ans après la mise en place des PIA, il est difficile de conclure que la trajectoire de recherche et d'innovation ait été notablement modifiée et cela même si des chocs externes ont probablement créé des interférences. Les fonds concurrentiels ne sont pas venus accroître en moyenne le financement par chercheur ni par laboratoire (voir chapitre 1).

Au cours des 20 dernières années, la dynamique de la DIRD a été portée par les chercheurs privés en cohérence avec une accentuation de l'intérêt pour la recherche appliquée à des fins de compétitivité. Le chapitre 2 montre que les effectifs de chercheurs publics sont le principal déterminant des différences inter-pays en termes de publications. En revanche, le nombre de chercheurs du secteur privé a un pouvoir explicatif plus fort sur les brevets.

Car en parallèle de la volonté d'augmenter le financement concurrentiel, l'orientation des réformes institutionnelles a été de diriger les fonds vers une recherche appliquée plus susceptible de se transformer en innovation. C'est clairement explicite dans la philosophie des PIA.

Les deux objectifs — financement concurrentiel et recherche appliquée — vont de pair car il est plus aisé d'ajuster les financements aux orientations politiques quand ces derniers sont alloués via des appels à projets, dont le domaine technologique voire le cahier des charges, peuvent être précisés.

Les résultats du chapitre 3 montrent que des directives incitatives en matière de partenariats avec des entreprises semblent rapprocher les publications des chercheurs de la frontière technologique et plus généralement de la recherche appliquée. Par ailleurs, des financements plus clairement orientés vers la recherche appliquée comme les fonds européens se démarquent des fonds de l'ANR de nature plus générique.

De leur côté, l'inertie des dotations structurelles ne permet pas aux décideurs publics d'arbitrer vis-à-vis des domaines de recherche. Si on ajoute l'absence de fléchage du financement public de la recherche privée (CIR), on se retrouve avec un degré d'intervention élevé quan-

titativement mais peu discrétionnaire sur les orientations. S'il s'agit de retrouver du pouvoir sur les orientations de la recherche appliquée, il serait opportun de conditionner le CIR à des appels à projets thématiques. La modalité de financement public de la recherche privée s'est de plus en plus concentrée sur le crédit d'impôt au détriment des subventions, mais le propre du crédit d'impôt est d'exclure les pouvoirs publics de toute orientation des financements. Aucune évolution vers des appels à projets sélectifs — à la manière de la DARPA américaine — n'a été envisagée pour faire évoluer le financement public de la recherche privée depuis la création du CIR.

Ce faisant, la recherche fondamentale française dispose des conditions de son déploiement, notamment l'horizon quasi-infini des dotations structurelles, mais manque de moyens alors que ses coûts s'élèvent irrémédiablement. Alors que le secteur privé augmente ses dépenses en recherche appliquée, plus que jamais, comme le soulignait déjà [Nelson \(1959\)](#), l'avantage comparatif des universités (et OPR) est dans la recherche fondamentale. Les OPR occupent une place à part dans la recherche en France. Ils sont nombreux et capturent une part importante du financement public de la recherche, mais sont aussi efficaces : c'est parmi les OPR qu'on trouve les déposants français de brevets les plus actifs.

A défaut de bouleverser le modèle mixte du système d'innovation et de recherche français et compte tenu de l'inertie de l'organisation de la recherche, il faut accentuer l'avantage comparatif des structures de recherche propres à la France : d'une part en intégrant plus clairement les universités et en supprimant la double tutelle à des fins d'efficacité organisationnelle ; d'autre part en pariant sur la recherche fondamentale de haut niveau.

De plus, il revient au financement structurel des OPR de contribuer à supporter le risque inhérent à la recherche — le risque que ne supporterait pas l'investisseur privé ([Arrow 1962](#)). Or il apparaît que la modalité concurrentielle ne parvient pas totalement à assumer cette charge en raison de l'ancrage de la connaissance des experts dans le passé des connaissances scientifiques qui les conduit à sous-financer des recherches disruptives (voir chapitre 1).

Pour aller plus loin et s'aventurer dans le champs politique de recommandations plus concrètes, nous émettons 5 recommandations.

Les rapports se succèdent et engendrent des réformes institutionnelles qui complexifient le système. Nous recommandons **premièrement** de n'envisager de réformes institutionnelles qu'à la condition de simplifier le système existant, par fusion ou disparition de certaines instances. **Deuxièmement**, nous recommandons d'augmenter les fonds de l'ANR, afin d'augmenter le taux de succès et augmenter les incitations à candidater. **Troisièmement**, afin d'augmenter le financement de la recherche appliquée, nous préconisons de conditionner tout autant le financement de la recherche publique à des partenariats privés que le financement de la recherche privée à des partenariats avec les OPR. Une réforme institutionnelle du financement public de la recherche privée devrait s'envisager. **Quatrièmement**, les OPR sont une pièce maîtresse du système d'innovation et de recherche français et méritent la continuation de la réforme de leur organisation à la mesure de leur importance. Il existe un risque de sédimentation des structures (les IDEX et LABEX se superposant aux ODR) peu propice à la transparence et à la souplesse. **Cinquièmement**, la rationalisation des OPR opérée via les incitations organisationnelles sous-jacentes au financement émanant des PIA, doivent se doubler d'un maintien des dotations structurelles pour un encouragement à la recherche en science fondamentale. La recherche fondamentale est un avantage comparatif des OPR français, l'augmentation de la modalité concurrentielle pour favoriser la conduite de la politique d'innovation et augmenter la productivité des chercheurs, ne doit pas occulter l'importance de la recherche fondamentale réalisée par les OPR et l'implicite financement du risque par les dotations structurelles.

Bibliographie

- Acemoglu, D., Aghion, P. & Zilibotti, F. (2006), ‘Distance to frontier, selection, and economic growth’, *Journal of the European Economic Association* **4**, 37–74.
- Adjei, F. & Adjei, M. (2016), ‘Gompers versus bebchuck governance measure and firm value’, *Journal of Finance and Economics* **4**(6), 184–190.
- Ahmadpoor, M. & Jones, B. F. (2017), ‘The dual frontier : Patented inventions and prior scientific advance’, **357**(6351), 583–587.
- Appelt, S., Galindo-Rueda, F. & González Cabral, A. (2019), ‘Measuring r&d tax support : findings from the new oecd r&d tax incentives database’, (2019/06).
- Arora, A., Belenzon, S. & Dionisi, B. (2021), ‘First-mover Advantage and the Private Value of Public Science’, (28533).
URL: <https://ideas.repec.org/p/nbr/nberwo/28533.html>
- Arora, A. & Gambardella, A. (1994), ‘The changing technology of technological change : general and abstract knowledge and the division of innovative labour’, *Research policy* **23**(5), 523–532.
- Arora, A. & Gambardella, A. (2005), ‘The impact of NSF support for basic research in economics’, pp. 91–117.
- Arrow, K. (1959), *Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention*, RAND Corporation, Santa Monica, CA.
- Arrow, K. (1962), Economic welfare and the allocation of resources for invention, *in* ‘The Rate and Direction of Inventive Activity : Economic and Social Factors’, National Bureau of Economic Research, Inc, pp. 609–626.
URL: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:nbr:nberch:2144>
- Ayoubi, C., Pezzoni, M. & Visentin, F. (2019), ‘The important thing is not to win, it is to take part : What if scientists benefit from participating in research grant competitions?’.
- Ayoubi, C., Pezzoni, M. & Visentin, F. (2021), ‘Does it pay to do novel science? the selectivity patterns in science funding’, *Science and Public Policy* .
- Azoulay, P., Graff Zivin, J. S., Li, D. & Sampat, B. N. (2019), ‘Public r&d investments and private-sector patenting : Evidence from NIH funding rules’.
- Babina, T., He, A. X., Howell, S., Perlman, E. R. & Staudt, J. (2020), ‘The color of money : Federal vs. industry funding of university research’.
- Belin, J. (2015), ‘La r&d des entreprises de défense dans le système national d’innovation français’, *Défense & Industries* (3), 4–6.

URL: <https://www.frstrategie.org/sites/default/files/documents/publications/defense-et-industries/2015/3-2.pdf>

- Bhattacharya, J. & Packalen, M. (2020), ‘Stagnation and scientific incentives’, *NBER WP* (26752).
- Bloom, N., Jones, C. I., Van Reenen, J. & Webb, M. (2020), ‘Are ideas getting harder to find?’, *American Economic Review* **110**(4), 1104–44.
URL: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.20180338>
- Boudreau, K., Guinan, E., Lakhani, K. & Riedl, C. (2016), ‘Looking across and looking beyond the knowledge frontier : Intellectual distance, novelty, and resource allocation in science’, *Management Science* .
- Cameron, A. & Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics – Methods and Applications*, Cambridge University Press.
- Carayol, N. & Lanoë, M. (2017), ‘The impact of project-based funding in science : Lessons from the ANR experience’.
- Coulhon, T. & Sachwald, F. (2021), ‘La position scientifique de la france dans le monde et en europe’, *Hors les murs* **509**, 18–22.
- Courtioux, P., Métivier, F. & Rebérioux, A. (2019), ‘Scientific competition between countries : did china get what it paid for?’, *Document de travail du centre d’Economie de la Sorbonne* (2019.13).
- Crespi, G. A. & Geuna, A. (2008), ‘An empirical study of scientific production : a cross country analysis, 1981 – 2002’, *Research Policy* **37**, 565–579.
- Dasgupta, P. & David, P. A. (1994), ‘Toward a new economics of science’, **23**(5), 487–521.
- Dolgin, E. (2021), ‘The tangled history of mrna vaccines’, *Nature* **46**(597), 318–324.
- Fu, H.-Z. & Y.-S., H. (2013), ‘Independant research of china in science citation index expanded during 1980-2011’, *Journal of Infometrics* (7), 210–222.
- Geuna, A. (2001), ‘The changing rationale for european university research funding : Are there negative unintended consequences?’, **35**(3), 607–632.
- Gingras, Y. (2020), *Sociologie des Sciences, Que Sais-je?*, 3 edn, PUF.
- Granato, J. & Suzuki, M. (1996), ‘The use of the encompassing principle to resolve empirical controversies in voting behavior : an application to voter sophistication in congressional elections’, *Electoral Studies* **15**(3), 383–398.
- Greene, W. (2003), *Econometric Analysis*, 5 edn, Prentice Hall.
- Grossetti, M., Maisonobe, M., Jégou, L., Milard, B. & Cabanac, G. (2020), Spatial organisation of french research from the scholarly publication standpoint (1999-2017) : long-standing dynamics and policy-induced disorder, Vol. 244 of *Complexity and Disorder Meetings 2018-2020*. 01005.
- Guillou, S., Lazaric, N., Longhi, C. & Rocchia, S. (2009), ‘The french defence industry in the knowledge management era : A historical overview and evidence from empirical data’, *Research Policy* pp. 170–180.

- Guillou, S. & Salies, E. (2020), ‘L’Allemagne prise dans l’engrenage du cir’, *Blog OFCE* .
- Guillouzouic, A. & Malgouyres, C. (2020), ‘Évaluation des effets du dispositif cifre sur les entreprises et les doctorants participants’, *Rapport IPP* (27).
- Gush, J., Jaffe, A. B., Larsen, V. & Laws, A. (2015), ‘The effect of public funding on research output : the new zealand marsden fund’.
- Guérin, P. (2019), Améliorer l’efficience de l’investissement public en France, Technical Report ECO/WKP(2019)29, OCDE.
- Harfi, M. & Lallement, R. (2016), Quinze ans de politiques d’innovation, Technical report, France Stratégie.
- Heraud, J.-A. & Lachmann, J. (2015), ‘L’évolution du système de recherche et d’innovation : ce que révèle la problématique du financement dans le cas français’, *Innovations* **46**(1), 9–32.
- IMF (2021), Research and innovation : fighting the pandemic and boosting the long-term growth, Technical Report Chapter 3, International Monetary Fund.
- Ioannidis, J. (2011), ‘More time for research : fund people not projects’, *Nature* (477), 529–531.
- Jacob, B. A. & Lefgren, L. (2011), ‘The impact of research grant funding on scientific productivity’, **95**(9), 1168–1177.
- Jaffe, A. B. & Lerner, J. (2011), *Innovation and its discontents*, Princeton University Press.
- Khan, L. M. (2017), ‘Amazon’s antitrust paradox’, *The Yale Law Review* (126), 710–802.
- Larivière, V., Macaluso, B., Mongeon, P., Siler, K. & Sugimoto, C. (2018), ‘Vanishing industries and the rising monopoly of universities in published research’, *PLoS ONE* **13**(8), 1–10.
- Lissoni, F., Llerena, P., McKelvey, M. & Sanditov, B. (2008), ‘Academic patenting in Europe : new evidence from the KEINS database’, **17**(2), 87–102.
- Lorsch, M. (2015), ‘Maximizing the return on taxpayers’ investments in fundamental biomedical research’, *Mol Biol Cell* (26), 1578–1582.
- Marx, M. & Fuegi, A. (2020), ‘Reliance on science : Worldwide front-page patent citations to scientific articles’, **41**(9), 1572–1594.
- Merton, R. K. (1957), ‘Priorities in scientific discovery : a chapter in the sociology of science’, **22**(6), 635–659.
- MESRI (2020), L’état de l’enseignement supérieur, de la recherche et de l’innovation en France, Technical Report 13, Ministère de l’Enseignement supérieur, de la recherche et de l’innovation.
- Musselin, C. (2009), ‘Les réformes des universités en Europe : des orientations comparables, mais des déclinaisons nationales’, *Revue du MAUSS* **33**, 69–91.
- Nelson, R. R. (1959), ‘The simple economics of basic scientific research’, *Journal of Political Economy* **67**(3), 297–306.
URL: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:ucp:jpolec:v:67:y:1959:p:297>
- OCDE (2014), Examens de l’OCDE des politiques d’innovation - France, Technical Report Chapter 3, OCDE.

- OCDE (2018), Effective operation of competitive research funding systems, Technical Report 57, OCDE.
- OST (2021), La position scientifique de la France dans le monde et en Europe : 2005-2018, Technical report, Hcéres.
- Park, W. (2008), 'International patent protection : 1960-2005', **37**, 761–766.
- Quemener, J. & Oudot, J.-M. (2015), 'Les dépenses de R&D de la base industrielle et technologique de défense : une évaluation par le CIR', *Ecodef* **74**.
- Rassenfosse, G. & Van Pottelsberghe de la Potterie, B. (2009), 'A policy insight into the R&D–patent relationship', **38**(5), 779–792.
- Salies, E. (2022), 'L'impact du CIR sur l'emploi affecté à la R&D dans le secteur privé - une revue critique', *Revue de l'OFCE*.
- Stephan, P. E. (1996), 'The economics of science', **34**(3), 1199–1235.
- Wang, J., Lee, Y.-N. & Walsh, J. P. (2018), 'Funding model and creativity in science : Competitive versus block funding and status contingency effects', **47**(6), 1070–1083.
- Wang, J., Veugelers, R. & Stephan, P. (2017), 'Bias against novelty in science : A cautionary tale for users of bibliometric indicators', **46**(8), 1416–1436.