



HAL
open science

Une analyse des relations science – industrie au travers de la notion de couplage : vers un modèle à double-impact simultané

Quentin Plantec, Pascal Le Masson, Benoit Weil

► To cite this version:

Quentin Plantec, Pascal Le Masson, Benoit Weil. Une analyse des relations science – industrie au travers de la notion de couplage : vers un modèle à double-impact simultané. *Vie et Sciences de l'Entreprise*, 2023, N° 216-217 (1), pp.256-287. 10.3917/vse.216.0256 . hal-04244750

HAL Id: hal-04244750

<https://minesparis-psl.hal.science/hal-04244750>

Submitted on 16 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.

Une analyse des relations science – industrie au travers de la notion de couplage : vers un modèle à double-impact simultané

Quentin Plantec^{1*}, Pascal Le Masson², Benoît Weil²

1. Toulouse Business School, Département Stratégie, Entrepreneuriat et Innovation, 20 Bd Lascrosses, 31000 Toulouse, France

2. Ecole des Mines Paris, Centre de Gestion Scientifique (CGS), i3 UMR CNRS 9217, 60 Bd Saint Michel, 75005 Paris, France

* Auteur correspondant : g.plantec@tbs-education.fr

Résumé : Cet article conceptuel vise à définir la notion de couplage science-industrie, une lecture gestionnaire et cognitive des relations entre ces deux sphères, plutôt qu'une approche institutionnelle ou économique. En se basant sur des découvertes majeures, leurs liens divers avec l'industrie et des données d'archives, l'article examine les couplages dans trois contextes typiques : transfert, recherche industrielle et recherche partenariale. L'organisation, les couplages et les performances de chaque cas sont détaillés. L'article suggère un modèle alternatif, le couplage à double impact simultané, décrivant des relations d'exploration et d'enrichissement mutuel entre les acteurs, adapté pour analyser certaines tendances actuelles et passées entre science et industrie. Notamment la théorie C-K, permet de décrire ce couplage, offrant une voie prometteuse pour comprendre les relations science-industrie.

Mots clés : recherche ; développement ; science ; industrie ; innovation ; C-K

Summary: This conceptual article aims to define the notion of science-industry coupling, a managerial view of the relationships between these two spheres, rather than an institutional or economic approach. Drawing on major discoveries, their diverse connections with industry, and archival data, the article examines couplings in three typical contexts: transfer, industrial research, and partnership research. The organization, couplings, and performance of each case are discussed. The article suggests an alternative model, the simultaneous double impact coupling, describing relationships of exploration and mutual enrichment between actors, suitable for analyzing certain current and past trends between science and industry. Notably, the C-K theory allows describing this coupling, offering a promising path for understanding science-industry relationships.

Keywords: research; development; science; industry; innovation; C-K

Resumen: Este artículo conceptual tiene como objetivo definir la noción de acoplamiento ciencia-industria, una perspectiva gerencial de las relaciones entre estas dos esferas, en lugar de un enfoque institucional o económico. Basándose en descubrimientos importantes, sus diversas conexiones con la industria y datos de archivo, el artículo examina los acoplamientos en tres contextos típicos: transferencia, investigación industrial e investigación en asociación. Se discuten la organización, los acoplamientos y el rendimiento de cada caso. El artículo sugiere un modelo alternativo, el acoplamiento de doble impacto simultáneo, que describe relaciones de exploración y enriquecimiento mutuo entre los actores, adecuado para analizar ciertas tendencias actuales y pasadas entre ciencia e industria. En particular, la teoría C-K permite describir este acoplamiento, ofreciendo un camino prometedor para comprender las relaciones ciencia-industria.

Palabras clave: investigación; desarrollo; ciencia; industria; innovación; C-K

L'analyse des interactions entre la science et l'industrie (S-I) est essentielle pour comprendre le développement économique et technologique des sociétés. Les relations entre la recherche scientifique et le développement de produits et services évoluent, et les modèles d'interaction entre ces domaines jouent un rôle clé dans la dynamique de l'innovation.

Les approches institutionnelles et économiques ont souvent été utilisées pour étudier les relations S-I, en se focalisant sur les échanges entre les acteurs (Le Masson, 2020; Plantec, 2021). Dans cette perspective, on considère généralement que les universités mènent des recherches avancées dans des laboratoires de pointe, tandis que les entreprises développent des produits innovants dans leurs centres d'innovation. Cependant, cette division n'est pas toujours claire. Premièrement, l'industrie peut également mener des recherches scientifiques, y compris les plus fondamentales (Pisano, 2010). Par exemple, aux États-Unis, où les entreprises doivent déclarer leurs dépenses en R&D par type d'activité, elles financent 26% de la recherche fondamentale¹. De plus, certains secteurs comme l'intelligence artificielle voient une part importante de la recherche fondamentale menée par des entreprises (Hartmann & Henkel, 2020). Deuxièmement, les organismes publics de recherche (OPR) peuvent également participer au développement de nouveaux produits. Par exemple, l'université RWTH Aachen en Allemagne a établi une chaîne de production de véhicules électriques sur son campus en partenariat avec des industriels du secteur.

Ces approches institutionnelles ou économiques rendent difficile la compréhension des relations S-I. D'autant qu'il ne semble pas exister de modèle unique de relation S-I favorisant des interactions fructueuses. Prenons trois exemples de découvertes majeures ayant conduit à des retombées socio-économiques significatives : la découverte du transistor par Shockley, Brattain et Bardeen en 1956 ; la magnétorésistance géante (GMR) par Fert en 2007 ; et les "ciseaux à ADN" par Charpentier et Doudna en 2020. Ces chercheurs avaient des rapports extrêmement différents avec l'industrie, allant de la recherche publique sans liens étroits avec des industriels (i.e., Charpentier et Doudna), à des collaborations directes avec des entreprises (i.e., Fert avec Thalès) à la recherche industrielle pure (i.e., Shockley, Brattain et Bardeen dans les Bell Laboratories). Il semble donc exister plusieurs modes d'interaction S-I pouvant aboutir à des effets positifs pour la science et l'industrie.

Cet article conceptuel vise à proposer et définir la notion de *couplage science-industrie*, permettant une approche gestionnaire des relations S-I en se basant sur les effets cognitifs et la créativité engendrée par ces interactions. Une fois cette notion définit, nous examinerons les principales doctrines des relations science-industrie identifiées à partir de la littérature en sciences de gestion et de données d'archives : (1) le modèle de transfert, (2) le modèle de la recherche industrielle, et (3) le modèle de la recherche partenariale. Nous analyserons l'organisation liée à ces différentes doctrines, décrirons le couplage S-I en action et discuterons des performances associées pour la science et l'industrie. Enfin, sur la base de notre analyse et de la notion de couplage science-industrie, nous aborderons l'intérêt

¹ Chiffres NSF 2015

d'envisager un quatrième modèle : le *couplage à double impact simultané* entre science et industrie. Nous montrerons en quoi ce couplage est pertinent aujourd'hui, également pour reconsidérer des expériences passées de relations S-I.

Nous proposons que les avancées récentes des sciences de gestion permettent de conceptualiser et décrire le fonctionnement d'un tel couplage à double impact simultané, en nous appuyant notamment sur la théorie C-K (Hatchuel & Weil, 2003, 2009). Cette théorie, qui met l'accent sur la créativité et la génération de connaissances, offre un cadre permettant de mieux comprendre et gérer les relations entre la science et l'industrie, en favorisant des interactions mutuellement bénéfiques et en stimulant l'innovation.

En conclusion, cet article cherche à élargir la compréhension des relations science-industrie en proposant la notion de couplage S-I et en examinant différents modèles d'interaction. En adoptant une approche gestionnaire et en nous appuyant sur des cadres théoriques tels que la théorie C-K, il est possible d'explorer de nouvelles façons de favoriser l'innovation et d'améliorer les performances dans les domaines scientifiques et industriels.

1. Le couplage science – industrie

Dans cette recherche, nous proposons d'introduire un nouveau concept pour discuter des relations science-industrie : la notion de *couplage*. Pour cela, nous proposons d'abord un basculement d'une lecture institutionnelle ou économique vers une lecture gestionnaire, qui s'appuie sur l'étude de l'action collective relative à la production de la science et de l'innovation technologique. Pour cela, nous proposons d'abord de définir les activités qui sont « couplées », c'est-à-dire les *activités de recherche scientifique* et de *développement de produits et services* (1.1). Sur cette base, nous définirons la notion de couplage science – industrie (1.2). Enfin, nous envisagerons comment cette notion nouvelle peut permettre d'étudier différents types de couplages (1.3.).

1.1. Des institutions aux activités : recherche scientifique et développement de produits & services

Nous proposons d'abord de préciser la définition de ce que nous entendons par recherche scientifique et développement de produits et services.

Concernant la recherche scientifique, nous pouvons effectuer une distinction entre la nature de l'activité de recherche qui repose sur la méthode, et le résultat de l'activité, c'est-à-dire la connaissance nouvelle. On retrouve d'ailleurs cette dichotomie dans la définition donnée par l'OCDE : « *[la recherche englobe] les activités créatives et systématiques entreprises en vue d'accroître la somme des connaissances – y compris la connaissance de l'humanité, de la culture et de la société* » (OECD, 2015, p. 46). Cet accent mis sur la méthode n'est pas anodin et fait écho aux grands débats épistémologiques qui ont animé les communautés scientifiques (voir Decartes, 1637; Kuhn, 1962; Popper, 1959). Cette épineuse question, « qu'est-ce qui fait une bonne recherche scientifique ? », fait d'ailleurs

toujours l'objet de réflexions et d'avancées récentes notamment dans un contexte où la lutte contre la fraude scientifique est devenue un enjeu essentiel (Horton et al., 2020; Mårtensson et al., 2016). Pour décrire cette activité, nous nous appuyons donc sur ce qui fait sa spécificité vis-à-vis d'autres activités créatives : le recours à la méthode scientifique. Nous nous appuyons ainsi sur la définition dérivée de Le Masson (2001) : les activités de recherche scientifique consistent en la production contrôlée de connaissances scientifiques nouvelles et originales, en nous appuyant sur les méthodes scientifiques, et qui vise à définir ou tester des propriétés décrivant les lois de la nature.

Concernant les activités de développement de produits et services (nous parlerons par simplification de développement de produits), la définition de l'OCDE précise qu'elles consistent « *en des travaux systématiques – fondés sur les connaissances tirées de la recherche et l'expérience pratique et produisant de nouvelles connaissances techniques – visant à déboucher sur de nouveaux produits et procédés ou à améliorer les produits ou procédés existants* ». Il est par ailleurs précisé que « *[l'] issue est incertaine dans la mesure où les essais réalisés peuvent aboutir à des résultats négatifs ; l'activité présente un élément de créativité dans la mesure où elle consiste principalement à adapter des technologies à un nouvel usage ; elle est formalisée, car elle nécessite la participation d'une main-d'œuvre spécialisée* » (OECD, 2015, p. 54). Ainsi, ces éléments de définitions nous permettent de mieux spécifier la nature de cette activité : c'est-à-dire l'utilisation de connaissances, scientifiques ou non, afin de produire de manière contrôlée des connaissances techniques nouvelles afférentes à un nouveau produit, procédé ou service. Le résultat consiste en la spécification d'un système, que l'on peut approcher par exemple par le dépôt d'un brevet d'invention.

Une fois les définitions de ces deux activités posées, nous pouvons désormais discuter de la notion de couplage science-industrie.

1.2. Le couplage science – industrie

Le *couplage science-industrie* (Plantec, 2021) correspond plus spécifiquement au couplage entre activités de recherche scientifique et activités de développement de produits, sur la base des deux définitions précédentes données pour les activités suscitées. L'objectif de la notion de couplage est de décrire les relations entretenues entre ces deux activités.

Le dictionnaire Larousse précise qu'un couplage peut se définir comme la « *liaison de deux circuits électriques, séparés par ailleurs, permettant le transfert réciproque de leur énergie ; mode de connexion de conducteurs ou de dispositifs* ». Cette analogie mécanique nous semble forte à propos pour notre sujet. D'une part, et sur la base des définitions données, les activités de recherche scientifique et les activités de développement peuvent être considérées comme totalement indépendantes l'une de l'autre : la science n'a pas nécessairement besoin de l'industrie pour produire des connaissances nouvelles, et pour l'industrie, les connaissances apportées par les clients peuvent tout à fait constituer le terreau d'un nouveau développement de produits (voir par exemple Piller & West, 2014). Pourtant, ces

deux activités peuvent s'entremêler. Il s'agit parfois d'un effort conjoint comme un partenariat de recherche (Veugelers & Cassiman, 2005), mais pas nécessairement comme lorsque des chercheurs industriels consultent des publications scientifiques (Cohen et al., 2002). A partir de la notion de couplage, nous souhaitons étudier comment l'une et l'autre de ces activités peuvent alimenter réciproquement, c'est-à-dire leur capacité à générer des connaissances scientifiques et techniques nouvelles et originales. Ainsi, il ne s'agit pas seulement de les arrimer ou de les fixer entre-elles, mais bien de concevoir que leurs connexions puissent **générer des formes d'échanges de potentiel de création**.

Une définition alternative du couplage dans le dictionnaire Larousse précise que l'action de coupler peut consister à « réunir deux pièces, deux appareils, deux voitures motrices, etc., pour rendre leur manœuvre ou leur commande solidaire et simultanée ». Ainsi, cette dimension du vocable nous permet également d'envisager les cas où les activités de développement et les activités de recherche scientifique viennent s'asservir mutuellement, se contraindre l'une à l'autre, comme dans les cas radicaux de l'industrie du tabac par exemple (Proctor & Girel, 2014).

Nous pouvons donc proposer la définition suivante d'un couplage : *un modèle de liaisons entre des activités de recherche scientifique et des activités de développement de produits, procédés et services qui peut induire (1) des effets réciproques de potentiel d'exploration et de créativité, et (2) des effets de dépendances entre ces deux activités*.

Le corolaire de cette définition est qu'il existe une pluralité de couplages, et que par construction, le couplage est indépendant des institutions qui lui sont associées, puisqu'on raisonne par activité (Le Masson & Weil, 2021). Nous proposons désormais d'étudier la façon dont cette notion permet de discuter les modèles de relation science-industrie dominants.

1.3. Une approche des relations science-industrie par l'exploration des modèles de couplages

Historiquement, la question de l'organisation des relations science-industrie est épineuse (Lamy, 2006) : on pourrait discuter de la posture de Pasteur par exemple, et de ses interactions avec les brasseurs Lillois à la fin du 19^{ème} siècle lorsqu'il était recteur de l'Université de Lille, ou encore de la célèbre controverse entre Perrin et Le Chapelier sur la place que l'industrie devait avoir dans ce qui deviendra quelques années plus tard le CNRS (Le Masson & Weil, 2016).

Dans cet article, nous proposons de nous appuyer sur la notion de couplage science-industrie pour proposer une relecture des doctrines dominantes depuis l'après Seconde Guerre mondiale. La notion de couplage peut permettre d'apporter un regard gestionnaire sur ces doctrines, et de proposer des pistes pour en discuter les succès, mais aussi les échecs.

Pour envisager les différentes doctrines, nous pouvons partir du modèle dominant pour conceptualiser les rapports science-industrie : le modèle dit « linéaire », et dont

la paternité est attribuée à V. Bush pour son rapport de 1945, *Science: The Endless Frontier*. Dans ce document, Bush conceptualise les activités de recherche et développement (R&D) comme un processus séquentiel. Dans un premier temps, des activités de recherche fondamentale qui s'opèrent dans un paradigme dit de la curiosité. Dans un second temps, viennent les activités de recherche appliquée qui visent à proposer des applications expérimentales. Soulignons que ces deux premières activités sont menées par des Organismes Publics de Recherche (OPR). Enfin, surviennent des activités de développement de nouveaux produits, procédés ou services, et qui sont conduites par les entreprises. Le modèle linéaire s'appuie sur les hypothèses suivantes (Lamy, 2006; Plantec, 2021): (1) une division institutionnelle des activités entre OPR (ie. en charge des activités de recherche scientifique) et entreprises (ie. en charge des activités de développement), (2) une approche séquentielle des activités où les activités de recherche scientifique déterminent les activités de développement.

Sur la base de ce modèle, il est possible en relâchant ou non les hypothèses du modèle linéaire, d'envisager ce que nous envisageons comme les trois doctrines sur les relations science-industrie :

- La *doctrine du transfert* : qui vise à maintenir l'ensemble des hypothèses du modèle linéaire ;
- La *doctrine de la recherche industrielle* : qui vise à relâcher l'hypothèse de division des tâches en intégrant l'ensemble dans l'industrie ;
- La *doctrine de la recherche partenariale* : qui vise à relâcher l'hypothèse de la séquentialité des activités (et donc de la division des tâches entre OPR et industriels).

Nous proposons d'étudier chacune de ces doctrines à l'aune de la notion de couplage. Pour cela, nous nous appuyons sur des données d'archives de multiples sources (notamment organismes nationaux et internationaux) et des résultats récents de travaux en sciences de gestion. Nous notons que l'analyse est particulièrement centrée sur le cas français, même si des exemples au-delà de ces frontières sont envisagés.

2. L'analyse des trois principales doctrines des relations science-industrie

Nous proposons de discuter pour chacune des doctrines, (1) leur modèle de fonctionnement, et (2) leurs performances en adoptant une lecture au travers de la notion de couplage.

2.1. Le couplage science - industrie dans la doctrine du transfert

2.1.1. Fonctionnement et organisation du modèle de transfert

Comme indiqué dans la section précédente, le modèle de transfert s'appuie sur la logique du modèle linéaire telle que décrite par V. Bush dès 1945.

En termes d'organisation, en supposant le modèle linéaire fonctionnel, il devient nécessaire de financer massivement la recherche fondamentale, et donc les OPR, pour favoriser l'innovation et la compétitivité des entreprises. C'est une vision séquentielle et en entonnoir : pour obtenir de nouveaux produits, il faut nécessairement en amont de très nombreux projets issus de la recherche fondamentale (Godin, 2006). A l'aune de la notion de couplage, nous retrouvons d'ores et déjà une première caractéristique clé : il existe une dépendance des activités de développement aux activités de recherche. Deuxièmement, dans cette doctrine, les rapports science – industrie doivent être organisés de manière à garantir que la recherche fondamentale s'opère sans interaction avec ses applications potentielles, et donc sans interaction avec les industriels. Ce cloisonnement est basé sur l'hypothèse que l'efficacité du système réside dans l'émergence de connaissances scientifiques générales par le paradigme de la curiosité, et permettant des applications variées. C'est l'idée de « science pure » popularisée au 19^{ème} siècle par Armand de Quatrefages (Carnino, 2015). Cette hypothèse, qui s'est notamment répandue via l'idée de la « sérendipité » (i.e., logique de découverte fortuite) s'est diffusée dans la communauté scientifique et a été particulièrement performative, y compris dans la manière dont ont été établies certaines institutions scientifiques comme le CNRS². On retrouve ici la question des effets réciproques de créativité et de potentiels d'exploration. Dans le cas de cette doctrine, la créativité des activités de recherche scientifique repose justement sur un confinement de cette dernière, une protection vis-à-vis de l'action de l'industrie sur la science. A l'inverse, les résultats scientifiques sont censés accroître les capacités d'exploration des activités de développement.

Nous pouvons représenter le modèle de la doctrine du transfert comme dans la **Figure 1** et l'on peut illustrer avec le cas de la découverte de CRISPR-Cas9 et des « ciseaux à ADN » par E. Charpentier et J. Doudna, Prix Nobel de Chimie 2021 (voir sur ce sujet notamment Lander, 2015). Ces deux chercheuses ont toutes les deux travaillé dans des instituts publics de recherche, et leurs travaux ont été considérés comme l'avancée scientifique fondamentale majeure de 2015 par la revue *Science*. Leurs travaux ont donné lieu à une série d'applications scientifiques, par exemple en médecine. On citera le cas, très décrié sur le plan scientifique, des « jumelles CRISPR » en 2019 qui a défrayé la chronique : deux jumelles nées d'une mère porteuse du sida et dont une procédure à partir de CRISPR-Cas9 a permis d'éviter qu'elles soient contaminées par la maladie. On pourrait bien sûr citer beaucoup d'autres avancées prometteuses notamment en médecine et en biologie. Enfin, ces travaux permettent d'appuyer des développements industriels. On peut prendre ici l'exemple relayé dans *l'Usine Nouvelle* de Monsanto qui souhaitait développer son offre en nous appuyant sur CRISPR-Cas9.

² On peut illustrer cette logique à partir du discours de Jean Perrin, premier directeur du CNRS : « Est-il besoin de vous dire qu'en exécutant des recherches ayant pour but de pénétrer l'intérieur invisible du corps humain, recherches dirigées vers un but précis, on peut bien trouver l'ossification mais on ne trouvera pas les rayons X qui résolvent d'un coup le problème et qu'on a découverts, vous le savez, par des recherches sur les décharges électriques en apparence bien éloignées du but auquel on les appliquait ensuite sans effort » (J. Perrin, cité dans Eidelman, 1988, p.44)

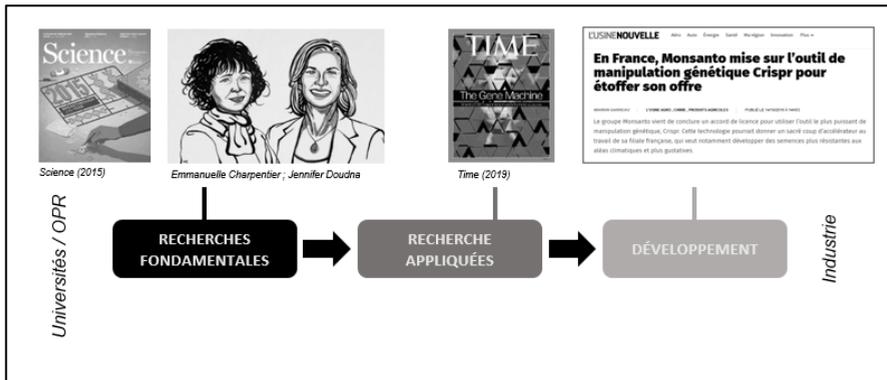


Figure 1 - Modèle linéaire et le cas de CRISPR-Cas9

Ainsi, nous pouvons constater avec ce bref exemple, que la doctrine du modèle linéaire semble pouvoir décrire de façon adéquate certaines avancées scientifiques récentes. Et après tout, peut-on véritablement supposer qu'il puisse y avoir des développements sans recherche fondamentale préalable ? Pourtant, cette vision a été particulièrement critiquée, mais a réussi à s'imposer jusqu'à aujourd'hui dans la logique du transfert.

En effet, cette doctrine a conduit à des efforts massifs des décideurs publics pour favoriser l'absorption par les industriels des connaissances développées par les OPR, dans une logique offre – demande (Mowery, 2009; Mowery et al., 2001). À titre d'illustration de l'intérêt pour cette thématique, la revue scientifique *The Journal of Technology Transfer* est créée en 1977. L'objectif des décideurs publics est alors d'éviter que la production des connaissances scientifiques des OPR ne se déroule dans « une tour d'ivoire » (Thursby & Thursby, 2002), avec des connaissances nouvelles qui n'atteignent pas le monde industriel. Puisque c'est bien l'un des corollaires de ce type de couplage : les activités de développement sont dépendantes des activités de recherche scientifique, mais assurent le potentiel d'exploration des premières. Ce mouvement se cristallise aux États-Unis avec le Bayh-Dole Act en 1980 et la possibilité laissée aux Universités américaines de tirer profit de leurs découvertes scientifiques par le biais de brevets, et qui constitue une véritable révolution organisationnelle (Mowery et al., 2001; Taylor Aldridge & Audretsch, 2011). Le développement de la littérature sur la question de l'absorption rejoint également cette logique (Cohen & Levinthal, 1990).

A l'aune de cette doctrine, les pouvoirs publics ont cherché à inciter les OPR à organiser et promouvoir ces logiques de transfert, notamment par le biais d'incitations financières. Alors que le modèle de Bush est vertement critiqué (voir détails dans Godin & Lane, 2013; Lenfle, 2011; Price & Bass, 1969), le modèle de couplage utilisé par les décideurs publics dans le cadre de la promotion des politiques de transfert est bien celui que l'on peut dériver de Bush. En France par exemple, le transfert devient même une mission à part entière des personnels de recherche³. De très nombreux mécanismes ont été mis en place pour renforcer le

³ Voir : l'article 24 de la loi d'orientation de la recherche du 15 juillet 1982

transfert : citons par exemple la création des 14 Sociétés d'Accélération du Transfert de Technologies (SATT) dans le cadre du Programme d'Investissement d'Avenir de 2009 (Cour des Comptes, 2018). La Cour des Comptes, dans un Rapport de 2005, indiquait également que pas moins de 80 organisations chargées du transfert de technologies opéraient, uniquement dans la région Bourgogne.

Ainsi, la doctrine du transfert peut se cristalliser dans un modèle de couplage que l'on pourra considérer comme hérité du modèle linéaire avec (1) une dépendance directe des activités de développement aux activités de recherche scientifique, et (2) des potentiels créatifs et d'exploration qui ne vont que des activités de recherche scientifique vers les activités de développement. Ici, l'industrie ne peut en aucun cas conduire à une dynamique créative et des explorations nouvelles de la science : la science est ici autonome. Pour faire fonctionner le modèle, il devient alors essentiel d'assurer le passage des nouvelles connaissances scientifiques vers l'industrie. Etudions désormais comment ce modèle performe.

2.1.2. Performances du couplage S-I dans le modèle de transfert

Si ce modèle de couplage a permis des succès certains et récents (voir cas CRISR évoqué ci-dessous), il apparaît comme insatisfaisant du point de vue des décideurs publics (voir OECD, 2013). Néanmoins, soulignons toutefois que dans l'après-Seconde Guerre mondiale, la productivité scientifique s'est particulièrement accélérée alors que la doctrine du modèle linéaire s'est imposée : le paradigme de la curiosité associé à la recherche fondamentale réalisée de façon autonome de l'industrie semble ainsi favoriser les avancées scientifiques. Citons quelques succès clés : la découverte du docétaxel, un médicament anticancéreux, par Pierre Potier à l'Institut CNRS de Chimie des substances naturelles à Gif-sur-Yvette en 1989 et générant 1,7 Mds € de revenus de licence pendant la période de protection pour le CNRS⁴. Le cas du graphène synthétisé par les Prix Nobel de Physique André Geim et Konstantin Novoselov en 2004 dans leur laboratoire de l'Université de Manchester, un matériau impactant de nombreuses industries comme les semi-conducteurs avec la création de marchés potentiels conséquents.

Pourtant, malgré ces réussites, les résultats escomptés des efforts de transferts sont dans l'ensemble en deçà des attentes. Cette conclusion peut être tirée à partir des indicateurs classiques, bien qu'imparfaits, qui peuvent nous renseigner sur ce modèle comme le nombre de demandes de brevets déposées par un OPR, les revenus de licences accordés à des industriels pour ces brevets, voire le nombre de start-up académiques⁵.

D'abord, concernant les revenus de licences des OPR, ceux-ci sont particulièrement faibles : seuls quelques « blockbusters » génèrent des revenus conséquents⁶. À titre d'exemple, les revenus de licences du docétaxel représentaient 90% des revenus de licences du CNRS sur la période couverte par les brevets⁷. Par ailleurs, le nombre de start-up académiques générées par OPR est également particulièrement limité.

⁴ Voir rapport de la Cour des Comptes 2018

⁵ On peut voir les spin off comme un mécanisme de « transfert forcé » par la création d'une entité ad hoc

⁶ Voir Rapport OCDE 2013

⁷ Cour des Comptes 2018

L'OCDE rapporte en 2013⁸ notamment que pour les 156 plus grandes universités américaines, le nombre moyen de spin-off créé par an était seulement de 4 en 2011. Enfin, nous pouvons présenter le tableau bilan établi par la Cour des Comptes en 2018 concernant les performances des SATT et qui montre des écarts de performances significatifs sur l'ensemble des indicateurs de valorisation proposés Tableau 1.

	Déclarations d'inventions	Brevets	Licences signées	Revenus issus du transfert
Prévisions	3 593	2 260	487	17,5 M€
Réalisations	3 066	1 082	237	4,7 M€
Ecart	- 14%	- 52%	- 51%	-73 %

Tableau 1 - Performances des SATT en 2018 (source : Cour des Comptes)

Ainsi, les décideurs publics ont encouragé une division du travail entre des activités de recherche scientifique et de développement, avec des activités de recherche scientifique qui doivent être menées en autonomie par les OPR mais qui se doivent aussi d'avoir un impact de plus en plus significatif pour l'innovation industrielle. Dans les cadres institutionnels établis, performe une vision des industriels comme demandeurs de connaissances scientifiques pour nourrir leur processus créatif. On soulignera la « *non satisfaction avec le retour sur investissement mesurable et direct des résultats de la recherche publique* »⁹ associés à ces politiques centrées sur une logique de transfert, malgré des succès non négligeables. On remarquera également que les retombées scientifiques d'un tel engagement des chercheurs dans le transfert ne sont jamais évoquées.

Nous pouvons conclure qu'à la doctrine du transfert, est associé un couplage hérité du modèle linéaire, qui s'appuie sur les principes de séquentialité des activités de recherche scientifique et de développement de produits, et la division institutionnelle du travail entre OPR et entreprise associée. Son modèle de fonctionnement est basé sur une dépendance forte des activités de développement aux activités de recherche scientifique, et un potentiel de créativité renforcé unidirectionnel. Si ce modèle semble être associé à des succès indéniables, il est vertement critiqué principalement pour ces retombées socio-économiques limitées.

2.2. Le couplage S-I dans la doctrine de la recherche industrielle

2.2.1. Fonctionnement et organisation de la recherche industrielle

En reprenant la modélisation présentée plus haut du modèle linéaire, il apparait que la doctrine de la recherche industrielle s'appuie sur le fait que les activités de recherche et les activités de développement soient intégralement menées dans l'entreprise. Bien sûr, le défi organisationnel repose ici sur la capacité de l'industrie

⁸ Voir Rapport OECD 2013 sur la commercialisation de la France

⁹ Traduction des auteurs, OECD 2013

à mener des recherches, notamment les plus fondamentales, et de réussir à les transformer efficacement en des produits ou services.

C'est à partir des années 1870' que se développent les premiers laboratoires de recherche industrielle, d'abord dans l'industrie chimique (Buderi, 2000). À cette époque les industriels allemands décident de ne plus être dépendant des chimistes des Technische Hochschulen, à qui les industriels tels que BASF ou Höchst fournissent de généreux royalties et revenus de conseil. Alors qu'il ne devient plus possible de copier les procédés chimiques de concurrents¹⁰, les industriels leaders de la chimie s'engagent dans une course contre la montre pour recruter un très grand nombre de jeunes docteurs. BASF constituera l'un des premiers laboratoires de recherche industrielle à grande échelle : la structure qui démarra avec la synthèse de l'indigo perdurera pendant 17 ans et déposera 152 demandes de brevets. Autre exemple chez Bayer où Carl Duisberg développe une nouvelle division de recherche interne dans laquelle il met en place des séminaires de présentation de recherche similaires à ceux des universités pour favoriser les collaborations entre les scientifiques du centre de R&D, un programme de mobilité des chercheurs dans différentes usines de l'entreprise pour comprendre les processus de production et leurs besoins associés, des incitations à breveter. Il développera également un laboratoire à Elberfeld en 1889 avec les machines les plus innovantes de son temps, sur un format ouvert, là encore inspiré des laboratoires universitaires, pour faciliter la diffusion dans l'entreprise des découvertes scientifiques (Le Masson & Weil, 2016).

À partir de l'exemple allemand, la vague de création de laboratoires de recherche industrielle va s'étendre dans l'ensemble des pays développés. En 1900, les États-Unis comptent 39 laboratoires industriels : dès 1876 à la Pennsylvania Railroad, puis en 1900 chez General Electric, en 1907 chez AT&T. En 1912, alors que Kodak est fortement dépendant de fournisseurs allemands, George Eastman visite le laboratoire Bayer et rencontre Carl Duisberg. À son retour, il embauche C.E. Kenneth Mees, un éminent chimiste, qui sera nommé vice-président chargé de la R&D pour Eastman-Kodak jusqu'en 1955, et en charge du premier laboratoire de l'entreprise. En 1932, Irving Langmuir, est le premier chercheur américain dans un laboratoire industriel, à General Electric, à recevoir le Prix Nobel. Le laboratoire de General Electric, qualifié de « Maison de la Magie » par la Presse de l'époque, a notamment inventé le rayon X, la radio, les émissions d'électron par les filaments ou le plasma : autant d'inventions qui nécessitent le développement et l'intégration de connaissances scientifiques clés. Ce phénomène se produit également en France, on l'on pourrait évoquer le cas de Dion-Bouton, entreprise de production automobile qui fonde dès 1897, son laboratoire de recherche¹¹.

Ainsi, en écho à ces succès à la fois scientifiques et industriels, ces éléments amènent d'abord à proposer, qu'à l'instar du découpage institutionnel inhérent au modèle linéaire, les entreprises soient indéniablement un lieu de production de connaissances scientifiques, et donc de conduite d'activités de recherche

¹⁰ En particulier, la loi sur l'unification des droits de propriété intellectuelle en Allemagne de 1977 va permettre la mise en place d'un cadre favorable à l'essor de ces laboratoires de recherche d'un genre nouveau.

¹¹ Voir à ce sujet Le Masson and Weil (2016)

scientifique (Arora et al., 2018; Pisano, 2010; Zahra et al., 2018). Il semble également qu'il puisse parfois exister une forme particulière de relations entre activités scientifiques et de développement au sein de l'entreprise : elles semblent parfois pouvoir s'auto-alimenter. Le cas Bell Laboratories semble emblématique (Lipartito, 2009). Alors que certains des scientifiques de l'entreprise sont des récipiendaires du Prix Nobel, par exemple pour avoir contribué à l'explication du big bang par l'exploration des ondes cosmiques, l'entreprise développe notamment en parallèle le transistor, le laser et la télévision.

En termes de couplage, cela signifierait qu'il serait possible que les activités de recherche scientifique et de développement de produits menées au sein de l'entreprises puissent renforcer mutuellement leurs potentiels de créativité, sur la base d'une organisation particulièrement fécondes des liens entre les acteurs (Mansfield, 1995). Les deux activités sont d'ailleurs généralement menées pour partie par les mêmes acteurs : le cas du transistor est ici évocateur (Lenfle & Petitgirard, 2020). La dépendance des activités semble alors plus limitée que dans le modèle de transfert originel. Si l'on pouvait creuser les spécificités de ce modèle pour en tirer des conséquences sur les relations science-industrie, le coup d'arrêt de la recherche industrielle à partir des années 1990 a limité les recherches et travaux sur un couplage étonnant et fécond que l'on aurait pu envisager. Etudions donc les performances de la doctrine de la recherche industrielle.

2.2.2. Performances de la recherche industrielle

Le développement de la recherche industrielle va culminer dans les années 1960-1970, considérées comme l'âge d'or de la recherche industrielle. Les travaux récents de Arora et al. (2018) montrent notamment que l'unité de recherche industrielle de Dupont publiait davantage d'articles dans *Journal of American Chemical Society* en 1960, que le MIT et CalTech combinés en 1960. AT&T Bell Laboratories, laboratoire de recherche industriel emblématique, comptera 14 Prix Nobel et 5 Prix Turing. Pourtant, à partir des années 1990, les acteurs majeurs de la recherche industrielle comme IBM, DuPont ou AT&T Bell Laboratories se désengagent fortement de cette activité entraînant une chute massive des performances de ce modèle de couplage (Pisano, 2010). Par exemple, en 1990 AT&T diminue ses dépenses de R&D de 8%, en 1991 des coupes budgétaires majeures sont réalisées dans la R&D de General Electric, en 1992 Arno Penzia alors directeur de la R&D de IBM réduit d'un tiers des dépenses (Buderi, 2000).

Pour Buderi, trois facteurs influencent cette diminution marquée de l'investissement en recherche fondamentale : le démantèlement des grands monopoles américains et la réduction de leurs marges qui ne permet plus de financer la recherche amont (voir les cas Kodak, IBM, GE, AT&T), l'augmentation drastique de la production scientifique mondiale qui laisse penser que les solutions peuvent être trouvées auprès des OPR (naissance du « Fièrément Inventé Ailleurs »), et enfin les succès de firmes qui n'investissent pas en R&D comme Compaq ou Dell. Ainsi, les entreprises mettent l'accent sur l'absorption des connaissances scientifiques, ce qui confère une importance renouvelée au transfert de technologie avec les OPR. De nombreux journaux destinés aux praticiens de la R&D aux titres évocateurs discutent de ce phénomène : « Le laboratoire central de R&D est-il obsolète ? » en

2001, ou « Est-ce que la recherche industrielle importe encore ? » en 2015 dans la *MIT Technology Review*, « La recherche industrielle disparaît. Les universitaires apparaissent » dans le *New York Times* en 2007, ou encore « L'ascension et la chute de la recherche industrielle : la fin de ces laboratoires poussiéreux » dans *The Economist* en 2007. Un autre phénomène va venir impacter négativement les performances du modèle de recherche industrielle à cette période et a trait à la Propriété Industrielle. En effet, depuis les années 1980, les dépôts de brevet des industriels ont fortement augmenté et les stratégies de protection et de valorisation de la propriété intellectuelle sont devenues plus prégnantes (Laursen & Salter, 2006). Par exemple, IBM a mis en place à partir de 1989 une politique interne favorable au dépôt de brevet qui a conduit à une augmentation à la fois des dépôts et des accords de licences, mais aussi à une diminution de la diffusion des connaissances au sein de l'industrie, mouvement observable dans d'autres grands groupes technologiques (Bhaskarabhatla & Hegde, 2014). On observe en parallèle un développement accru du recours au secret. Couplées aux coupes budgétaires opérées sur la recherche fondamentale, nous pouvons observer en parallèle une chute massive des contributions de l'industrie à la « science ouverte » par le biais des publications scientifiques (Arora et al., 2018).

Ainsi, si un modèle de couplage où les activités de recherche scientifique et de développement semblait s'auto-alimenter dans un contexte industriel, il s'est sans doute érodé du fait d'un désinvestissement marqué des entreprises dans les activités scientifiques. Si les relations entre activités de recherche scientifique et de développement avaient permis, de favoriser des découvertes qui soient commercialisables et qui puissent permettre de proposer des produits innovants, ce mécanisme semble très difficile à piloter dans le contexte industriel (Markham & Lee, 2013). Comme le rappellent Zahra et al. (2018), le sujet de la recherche industrielle a suscité très peu d'intérêt en sciences de gestion ces dernières années. En particulier, l'hypothèse que les découvertes scientifiques de la recherche industrielle conduisent de manière routinière à des produits innovants semble peu robuste. Seule une très faible fraction des produits innovants sortis par les industriels seraient issus des découvertes scientifiques en interne et une majorité des découvertes seraient inexploitées (Ganco, 2013). Ainsi, la recherche industrielle constituerait surtout une voie permettant d'assimiler plus facilement des connaissances développées par des OPR, voire simplement d'identifier des partenaires de recherche. D'ailleurs, la revue majeure de science de gestion *Administrative Science Quarterly* y consacre le troisième numéro de son histoire, en 1956, qui soulignent déjà ces difficultés organisationnelles : « Probablement aucune autre branche des activités industrielles ne pose autant de difficultés, d'insatisfactions et d'incertitude managériale que la R&D »¹², et le sujet semble tombé en désuétude dans la recherche en gestion.

Ainsi, nous avons montré que l'entreprise peut être un lieu clé de la production de connaissance scientifique, avec parfois (et notamment dans des cas historiques) des formes de couplages originales et intrigantes où activités de recherche scientifique et activités de développement semblent pouvoir s'entrechoquer pour

¹² Traduction des auteurs

favoriser la créativité de l'une et de l'autre. Toutefois, les spécificités de cette activité ne semblent pas avoir été particulièrement explorées dans la littérature récente et les évolutions contemporaines de la recherche industrielle ont conduit au développement d'une science que l'on pourrait qualifier de résolutoire (Le Masson & Weil, 2016, 2021), davantage tournée vers le soutien au développement et la résolution de problèmes locaux, avec une contribution scientifique moindre. Or, les problèmes circonscrits ne permettent pas d'explorer l'inconnu et de répondre aux enjeux de la rupture scientifique (Sieg et al., 2019). On parlera donc de *couplage hybridé* : c'est-à-dire que les travaux sur lesquels les activités de recherche scientifique et de développement de produit vont se concentrer deviennent similaires, créant un flou sur la nature même des résultats produits, un mélange des genres qui paraît peu propice à la créativité et qui semble davantage fixer cognitivement les acteurs.

Envisageons désormais une troisième doctrine, celle de la recherche partenariale.

2.3. Le couplage S-I dans la recherche partenariale

2.3.1. Fonctionnement de la recherche partenariale

La recherche partenariale est considérée par les décideurs publics comme un vecteur de croissance économique, qui facilite la co-crédation de savoirs nouveaux directement intégrables dans les entreprises (Cour des Comptes, 2018; OECD, 2013). Ce mécanisme permet de répondre à un double défi. D'un côté, pour les entreprises, l'accélération de la compétition mondiale et le dynamisme de l'innovation nécessitent d'accéder plus rapidement à des connaissances scientifiques nouvelles pour inventer des produits ou des services nouveaux, d'autant que la recherche est devenue trop coûteuse, trop compliquée et trop incertaine pour qu'on la mène seul (FutuRIS, 2016). D'un autre côté, pour les OPR, le contexte de restriction budgétaire et la diminution des financements étatiques les amènent à identifier de nouvelles sources de financements compatibles avec leurs missions de recherche. Sur cette base, de nombreux mécanismes ont été développés pour faciliter les collaborations (au-delà d'accords bilatéraux que peuvent passer les Universités et Écoles avec des partenaires industriels) suite aux nombreux rapports d'expertise qui en ont fait une priorité, à l'instar du transfert.

Dans le cas français, citons par exemple le rapport Alain Juppé et Michel Rocard de 2009 qui donnera lieu au Programme d'Investissement d'Avenir (PIA), ou le Rapport Suzanne Berger de 2016 sur la valorisation qui appelait à augmenter fortement, par tous les moyens possibles, les contacts entre industriels et OPR, et ce au-delà de la simple volonté de favoriser le transfert de technologie (Berger et al., 2016). Le PIA de 2009 prévoyait d'ailleurs de conférer davantage de moyens à la recherche partenariale en débloquant 1,9 milliard d'euros de crédits sur 10 ans pour la recherche partenariale (Cour des Comptes, 2018). Ces crédits étaient principalement dédiés à la création de huit Instituts de Recherche Technologique (IRT) et à un financement additionnel des Instituts Carnot : deux moyens de favoriser la recherche partenariale en France. Les Instituts Carnot créés en 2006 sont des laboratoires préexistants dans des OPR qui reçoivent une labélisation et des

financements publics pour réaliser un plan à cinq ans et centrés sur la création ou le renforcement de partenariats de recherche avec des industriels. À l'inverse, les IRT, créés en 2009, sont des laboratoires établis de façon ad hoc qui permettent de n'adosser non pas une, mais plusieurs entreprises à un OPR à des fins de recherche partenariale (le dispositif visant notamment à compléter les laboratoires mixtes CNRS – entreprise qui sont le plus souvent bilatéraux) avec une gouvernance mixte. Il est d'ailleurs intéressant de noter que la création des IRT ou des Carnot s'inscrit en parallèle d'initiatives (parfois anciennes) dans d'autres pays : Fraunhofer en Allemagne, Catapult au Royaume-Uni, instituts Manufacturing USA aux États-Unis.

Néanmoins, soulignons que derrière ce terme de recherche partenariale, se cache une réalité multiple. Dans l'État de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'innovation en France de 2020, le Ministère de l'Enseignement Supérieure, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI, 2020, p. 78) considère que ces collaborations peuvent prendre trois formes distinctes : la *recherche contractuelle* pour laquelle une entreprise finance des travaux de R&D auprès d'un OPR sans participer à la réalisation de ces travaux ; la *recherche collaborative*, pour laquelle une entreprise s'associe avec un OPR pour mener un projet de R&D conjoint dont les coûts et les risques sont partagés ; les *travaux de consultance* qui prennent la forme d'avis d'experts, en étant souvent mandatés et rémunérés directement par l'entreprise. D'autres études envisagent même une plus grande variété de modalités (Cohen et al., 2002; D'Este & Perkmann, 2011). Force est de constater que l'intensité des échanges entre OPR et industriels que requièrent ces différents types de collaborations varie très fortement. On peut imaginer sans difficulté que la recherche contractuelle peut impliquer des échanges très limités entre les parties prenantes avec l'émission d'un rapport final par le laboratoire public pour l'industriel, quand la recherche collaborative nécessite un partage de connaissances entre les parties et des efforts de co-explorations, de construction de plateformes cognitives communes.

Malheureusement, les statistiques publiques ne permettent pas de distinguer entre ces différents types de recherche et les indicateurs utilisés portent sur les collaborations en général : part des financements des OPR par les entreprises, co-publications de brevets ou de publications scientifiques, part des entreprises faisant appel à des OPR dans leur processus de R&D. Ainsi, le MESRI rappelle, en s'appuyant sur les données de l'OCDE, que la part des financements privés dans le total des financements des OPR apparaît aujourd'hui faible en comparaison avec nos voisins européens : 5,2% en 2015 contre 12,7% en Allemagne et 7,0% en moyenne de l'Union Européenne (MESRI, 2020, p. 78). En s'appuyant sur les derniers chiffres de l'enquête communautaire CIS dans l'Union Européenne, le MESRI indique que 17% seulement des entreprises innovantes en France font appel à des collaborations avec des OPR (avec des disparités notables en fonction de leur taille puisque 40% des grands groupes s'appuyaient en 2016 sur des OPR pour leurs activités d'innovation). Ainsi, bien que les efforts soient importants, une faible part des financements des OPR provient des industriels et la grande majorité des entreprises n'interagit pas avec les OPR. Le MESRI conclut d'ailleurs : « la recherche partenariale apparaît relativement peu développée en France » (MESRI, 2020, p. 78).

Plus précisément, quels sont les attendus de ces collaborations et comment sont-elles pilotées ? L'objectif principal des OPR est de produire des connaissances scientifiques nouvelles, tandis que celui des entreprises est de capturer la valeur des connaissances scientifiques afin de favoriser leur avantage compétitif, rendant par nature les collaborations difficiles (David & Dasgupta, 1994). Ainsi, alors que l'OPR chercherait à accéder à de nouveaux moyens financiers, techniques et des compétences humaines, que penser d'un industriel qui souhaiterait par exemple utiliser le partenariat comme un vecteur de recrutement uniquement ? La pluralité des objectifs implique des difficultés notables dans le management de la recherche partenariale, parfois qualifiées de « barrières » (Bruneel et al., 2010). Dans le cas des IRT par exemple, le rapport de la Cour des Comptes de 2018 souligne que les objectifs en termes de production scientifique, de formation, de valorisation sont tellement variés qu'il est particulièrement difficile d'évaluer les performances de ces instituts. Ainsi, malgré le grand nombre de vecteurs de collaborations qui pourrait laisser penser qu'il existe une forme de collaboration adaptée à chaque besoin entre les industriels et les OPR (conventions CIFRE, chaires, mobilité des chercheurs, consortiums, IRT, laboratoires mixtes, etc.), des difficultés persistent et se cristallisent notamment sur la partie contractuelle. Les conflits de propriété intellectuelle sont souvent cités comme l'une des difficultés majeures de ces relations, et constituent un révélateur à la fois d'attentes potentiellement différentes entre les acteurs, mais aussi de la complexité du système de collaboration et des rapports de force entre les institutions. Enfin, il est également intéressant de noter que les objectifs des OPR sont partagés entre des objectifs scientifiques (ie. renouveler les thèmes de recherche, accéder à des moyens techniques et des compétences humaines, pousser plus loin le développement de projets) et des objectifs de valorisation (ie. insérer des doctorants, développer des start-up). Or, les moyens managériaux pour favoriser des retombées scientifiques positives sont particulièrement peu discutés.

Ainsi, comment décrire le couplage inhérent à la recherche partenariale ? Nous pouvons établir sur la base de notre analyse qu'ils semblent particulièrement hétérogènes, mais que surtout, ils tendent à nous ramener soit au couplage hérité du modèle linéaire, soit vers les couplages hybridés, plutôt qu'à un couplage à part entière, et sauf exception comme les IRT ou les thèses CIFRE. Malgré les efforts des décideurs publics, la recherche partenariale représente en volume, une faible part des activités de recherche scientifique et de développement. Nous pouvons néanmoins tenter d'engager la réflexion sur les performances de la recherche partenariale.

2.3.2. Performances de la recherche partenariale

Si les décideurs politiques mettent des moyens à disposition de la recherche partenariale, évoquons brièvement quelques succès récents à partir de l'exemple français : le développement d'un procédé de production d'anticorps contre le cancer par un partenariat entre l'Institut Français de la Santé et de la Recherche Médicale

(INSERM) et Innate Pharma¹³, ou encore pendant la crise du Covid-19, les travaux de recherche partenariale conduits par le CEA et Michelin pour concevoir des masques réutilisables et produits par la société Ouvry¹⁴.

Plus largement, soulignons que la corrélation entre l'intensité de la collaboration avec des OPR et la performance économique de l'entreprise a été démontrée à de nombreuses reprises dans la recherche en sciences de gestion. Par exemple, Cockburn & Henderson (1998) montraient déjà en 1998 que les connexions entretenues par les industriels dans l'industrie avec les scientifiques des OPR (mesurées par les publications co-écrites) sont corrélées au nombre de médicaments nouveaux découverts. Plus récemment, et en adoptant une perspective davantage macro-économique et en prenant l'exemple allemand, Comin et al. (2018) ont montré en 2018 que +1% d'augmentation de financement public dans les Fraunhofer-Gesellschaft conduit à +1% d'augmentation de croissance économique et +0,7% d'accroissement de la productivité générale des facteurs. Ainsi, le lien entre recherche partenariale et innovation semble largement démontré.

Pourtant, on ne peut ignorer certaines dérives de la recherche partenariale : le trop grand rapprochement entre les acteurs peut conduire notamment à un enfermement du chercheur dans des voies de recherche peu fécondes. D'ailleurs, certains auteurs pointent du doigt des comportements conscients ou inconscients des chercheurs qui conduisent à une baisse de la qualité scientifique lors de l'interaction avec l'industrie (Slaughter, 1993; Slaughter & Campbell, 2002) du fait notamment du paradigme néolibéral (Mirowski, 2011). Enfin des phénomènes plus pernicioseux peuvent être à l'œuvre avec les stratégies dites de détournement comme dans les recherches associées à l'industrie du tabac (Proctor & Girel, 2014). En effet, Proctor & Girel (2014) démontrent comment l'industrie du tabac a pu financer dès les années 1950 des travaux de recherche tout à fait rigoureux et publiés dans les meilleures revues académiques, afin de saturer l'espace scientifique et en orientant les financements sur des questions de recherche particulières, mais sans jamais traiter celle du lien de cause à effet entre consommation de tabac et santé humaine, et sans recourir à des études épidémiologiques. Ces dérives de la recherche industrielle conduisent à davantage de suspicions et une prise de distance nécessaire des chercheurs des OPR avec leurs pairs de la recherche industrielle et conduisent à des impacts néfastes sur des couplages science – industrie qui auraient pourtant pu être féconds (Le Masson & Weil, 2021). Cela nous ramène à une version presque caricaturale du couplage hybridé. Cette tension semble revenir de manière cyclique dans le débat sur les relations science-industrie : comme le rappellent les rédacteurs du Rapport des Etats Généraux de la Recherche de 2004 en France : « *La science ne peut fonctionner qu'en élaborant elle-même ses propres questions, à l'abri de l'urgence et de la déformation inhérente aux contingences économiques et sociales* » (Rapport des états généraux de la recherche, 2004, p. 14).

Ainsi, nous avons, dans cette section, discuté des trois principales doctrines des relations S-I : la doctrine du transfert, celle de la recherche industrielle et celle de la recherche partenariale. Nous avons montré que de façon générale, ces doctrines

¹³ Voir détail dans le rapport Futuris

¹⁴ « Ouvry va fabriquer 5 millions de masques réutilisables conçus par Michelin et le CEA », Les Echos, ed. 16/04/2020

peuvent être étudiées au travers de deux principaux couplages : (1) hérité du modèle linéaire, et (2) hybridé. Il s'agit donc d'un paradoxe : lorsque science et industrie sont trop éloignées, il semble difficile d'assurer le transfert car les connaissances produites semblent distantes des problématiques industrielles, mais surtout il y a peu d'intérêt pour les chercheurs eux-mêmes d'ouvrir de nouvelles voies d'exploration pour leurs propres travaux dans ce cadre. D'un autre côté, trop rapprocher ces activités semble conduire à un asservissement mutuel, voire des dérives. Et en même temps, si les performances de ces opérations sont donc critiquables, on ne peut pas ignorer quelques retentissants succès dans les deux modèles.

Finalement, n'existe-t-il pas une voie alternative ? Ne pouvons-nous pas envisager un troisième type de couplage, qui de façon presque naïve, permettrait d'assurer un accroissement des capacités créatrices des deux activités par la relation S-I ? C'est que nous appellerons le couplage à double impact simultané.

3. Le double impact simultané : l'émergence théorique et empirique d'un nouveau couplage à étudier

3.1. Le couplage à double impact simultané comme phénomène émergent

Tout d'abord, remarquons qu'une logique de double impact « simultané », c'est-à-dire où au cours d'un même projet de recherche, activités de recherche scientifique et activités de développement de nouveaux produits viendraient s'auto-alimenter, est un modèle de plus en plus promu par certaines institutions de recherche. Par exemple, le modèle de recherche promu par l'Université de Stanford est présenté ainsi : « *The Research Enterprise: Stanford's culture of collaboration drives innovative discoveries in areas vital to our world, our health and our intellectual life* ». Il faut comprendre ici que la recherche partenariale conduite à l'Université Stanford permettrait à la fois des percées scientifiques, mais également des innovations. Autre cas, celui du Département Américain de l'Energie (DoE) qui a fondé en 2009 une nouvelle agence, au-delà des agences classiques de recherche fondamentale (*Office of Science*) et de recherche appliquée (*Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE*). Il s'agit de l'agence *Advanced Research Projects Agency – Energy* (ARPA-E), chargée de financer des projets qui adressent des questions de recherche fondamentale dans le cadre de projets appliqués. Goldstein & Narayanamurti (2018) décrivent des exemples de projet financé par ARPA-E qui démontre la co-existence d'une question de recherche fondamentale, mais qui est investiguée dans un contexte de développement de produit¹⁵. D'ailleurs, les résultats de ARPA-E semblent soutenir cette logique de double impact simultané : au cours d'un même projet, on observe à la fois une percée scientifique (par exemple, une

¹⁵ « In 2012, ARPA-E awarded \$4.3 million to a team led by Michael Aziz, Professor in the School of Engineering and Applied Sciences at Harvard University. The goal of the project was to develop an organic aqueous flow battery, which would be highly desirable as a low-cost energy storage method to help accommodate intermittent renewable sources of electricity on the grid. By gaining a deeper understanding of the chemical reactions involved, Aziz's group was able to create a proof of concept device. The researchers published a number of journal articles, including in *Nature and Science*; they also filed two patent applications and began partnering with a company to commercialize the technology. » (Goldstein et Narayanamurti, 2018, p. 1505)

meilleure compréhension de la réaction chimique dans une batterie à flux aqueux organique) et une avancée industrielle qui prend la forme du développement d'un produit innovant (prototype et brevets de batterie à flux aqueux organique). En termes de percées scientifiques et de développement de produits nouveaux, les performances de ARPE-E sont supérieures sur les deux aspects comparativement aux autres branches du Département de l'Énergie (Goldstein et Narayanamurti, 2018). C'est justement le modèle d'ARPA-E qui est plébiscité au Royaume-Uni pour imaginer une nouvelle agence de recherche en février 2021¹⁶. Ce modèle semble faire école : Joe Biden a annoncé la création de deux nouveaux instituts « ARPA », respectivement sur le Climat et la Santé. Le Japon a également lancé son propre institut sur un modèle similaire (institut « Moonshot »), tandis que les États-Unis réfléchissent également à mettre en place de nouveaux instituts de taille plus limitée mais cherchant à atteindre un objectif similaire, les *Institutes of the Future*.

Comme nous l'avons souligné dans les paradoxes évoqués ci-dessus, si le fait que les activités scientifiques contribuent à la croissance économique par l'innovation est désormais clairement établi dans la littérature scientifique (Aghion et al., 2008), la boucle de rétroaction de la recherche partenariale ou du transfert sur les activités de recherche scientifique pose question. Ce point était jusqu'alors peu discuté y compris dans les débats sur l'organisation et la facilitation de la recherche partenariale : l'enjeu était d'abord de promouvoir coûte que coûte cette forme de recherche. Les débats de la conférence « L'innovation par la recherche partenariale » organisée par le Club de Paris des Directeurs de l'Innovation le 8 mars 2020 illustrent ces questionnements. Citons cet extrait d'intervention de P. Véron (Président de l'Association des Instituts Carnot) qui permet de revenir sur les enjeux de réaliser des couplages qui soient féconds, mais aussi sur les limites de la capacité des institutions à piloter ces interactions : « *Ainsi il faut faire en sorte aussi que le monde socio-économique et les entreprises viennent alimenter et nourrir la recherche publique. En résumé, il faut construire ensemble des passerelles bidirectionnelles entre la recherche publique et les entreprises.* »

Dans cet extrait, c'est bien cette question du double impact simultané dont il est question par cette logique de « passerelles bidirectionnelles », mais l'usage de la métaphore du « pont » est ici équivoque. Comme nous l'avons montré, les ponts semblent aujourd'hui exister au travers du très grand nombre de dispositifs à la recherche partenariale (CIFRE, laboratoire unité mixte, chaire, Office de Transferts de Technologie, IRT, SATT, etc.). La question devient donc plutôt comment assurer la circulation des connaissances dans les deux sens sur ledit « pont »¹⁷. Dans cette même conférence, l'exemple d'un industriel, ici le chimiste Solvay explique d'ailleurs l'intérêt d'un des dispositifs, ici les unités mixtes CNRS avec des industriels : « *Cette vision de partenariat étroit, cette vision d'échanges où les chercheurs du monde académique sont exposés tous les jours aux problèmes industriels, et où tous les jours ils peuvent parler avec un industriel de leurs dernières découvertes scientifiques, dans les domaines du projet, c'est quelque chose d'extrêmement passionnant et à la fois utile, pour les deux camps.* ». Dans cet extrait, on retrouve

¹⁶ « A new UK research funding agency », UK Parliament, fev. 2021

¹⁷ En filant la métaphore, on pourrait faire l'hypothèse que la voie de circulation des connaissances des OPR vers le monde socio-économique est un « très large pont autoroutier », tandis que la voie de circulation en sens inverse ressemblerait davantage à une très tortueuse sente.

en creux cette volonté de promouvoir cette logique de double impact simultané. Pour autant, si les enjeux de développement de produits et de recherche sont clairement établis, il est difficile ici de comprendre le mécanisme de pilotage et ce qui permet de favoriser découvertes scientifiques et innovation. On est ici dans une logique qui tend à favoriser ce qu'on pourrait qualifier de « surface de contact » entre les deux institutions. D'autant que cet objectif d'obtenir un impact scientifique est perturbé par les autres objectifs classiques de l'entreprise dans la recherche partenariale : partage des risques, des frais et embauches. Certains chercheurs viennent parfois même à parler de prédation de l'industrie qui encouragerait ainsi « fuite des cerveaux » des OPR vers l'industrie (Toole & Czarnitzki, 2010).

Ainsi cette question de la caractérisation et du pilotage des couplages entre des activités de recherche d'une part, et des activités de développement de nouveaux produits, procédés ou service d'autre part, est au cœur des questionnements contemporain des OPR, des pouvoirs publics et des entreprises. À titre d'illustration, soulignons l'organisation du séminaire « Modèles et Pratiques de couplage entre Science et Industrie pour favoriser l'impact de la recherche » le 22 mars 2019 par un collectif d'institutions (Association Nationale de la Recherche et de la Technologie, le CEA, MinesParistech, la Maison des Sciences de l'Homme de Paris-Saclay, l'Université Paris-Saclay) qui témoigne là encore de l'intérêt pour cette question. L'idée de ce séminaire était d'ailleurs de comprendre comment le management de ces relations pourrait favoriser le double impact par le partage d'expériences et de bonnes pratiques. Mais au-delà de l'intention, peut-on trouver des traces historiques de couplages vertueux à double impact simultané ?

3.2. Le couplage à double impact simultané pour relire et comprendre des cas historiques

Si comme nous l'avons montré, certaines institutions semblent promouvoir une approche à double impact simultané du couplage entre activités de recherche scientifique et activités de développement de nouveaux produits, procédés ou services, c'est aussi parce qu'il semble y avoir existé des couplages féconds dans l'histoire des relations science – industrie. Nous ne sommes pas attardés longuement sur la possibilité de ce couplage dans la section ci-dessus sur l'histoire de la recherche partenariale, du fait du désengagement massif des entreprises à partir des années 1990. Pourtant, si Max Planck obtient le Prix Nobel de Physique en 1918 pour ses travaux sur la mécanique quantique (théorie des quantas), c'est peut-être parce que l'industriel Siemens lui a demandé de chercher une mesure originale de l'intensité lumineuse, et que cette activité l'a poussée à explorer des voies nouvelles (Le Masson & Weil, 2021). Si Charles-Edouard Guillaume obtient le Prix Nobel de Physique en 1920 pour ses avancées sur la métrologie, c'est peut-être lié à ses relations fécondes avec Fayol et Chevenard qui permet de spectaculaires percées sur les aciers (Le Masson & Weil, 2016). Si le projet Manhattan permet des avancées scientifiques conséquentes en physique, c'est peut-être parce que la structuration du projet permettait d'explorer des voies de recherche nouvelles orientées vers les applications pour la création de la bombe atomique (Gillier & Lenfle, 2019). Si les Bell Laboratories ont inventé le transistor

qui permettra de structurer la Silicon Valley et qui conduira John Bardeen, Walter Brattain et William Shockley au Prix Nobel de Physique, c'est peut-être lié à une structure de management autour des applications particulières (Lenfle & Petitgirard, 2020). William Shockley parlera d'ailleurs de « *creative failure methodology* » (Shockley, 1976) pour décrire son approche scientifique basée sur une logique d'essais – erreurs, ou il revendique « *a respect for scientific aspects or practical problems* »¹⁸.

Dans cet ensemble de cas historiques, qui sont certes des réussites en matière de développement de nouveaux produits et de percées scientifiques, on peut s'interroger sur les mécanismes qui sous-tendent le double impact simultané. Dans le cas de Max Planck par exemple, il semble que ce soit l'injonction de Siemens qui au lieu d'asservir le scientifique, l'a poussé à explorer des champs radicalement nouveaux pour aller jusqu'à la réalisation d'une découverte scientifique de premier plan. Dans le cas du projet Manhattan, l'injonction semble relativement similaire, mais la conduite du projet impose d'explorer en parallèle toutes les voies scientifiques prometteuses, ce qui semble avoir renforcé le potentiel d'exploration à la fois en termes scientifiques et en termes d'innovation¹⁹. Dans le cas du transistor, mue par la volonté de remplacer des amplificateurs à lampes par des composants solides, l'équipe de recherche invente le premier transistor par un mécanisme qui semble s'approcher davantage d'une logique d'essai-erreur, avant de proposer une analyse plus scientifique du phénomène (Lenfle & Petitgirard, 2020).

Ces quelques exemples montrent que les couplages à double impact simultané semblent possibles. Toutefois, leur pilotage, leurs conditions de réalisation, le type de connaissances à échanger entre les parties, semblent autant de points cruciaux à creuser pour sortir d'une logique de « surface de contact » ou de « bonne distance » entre activités de développement de produits, services ou procédés et activités de recherche scientifique.

3.3. Des avancées récentes des sciences de gestion pour étudier le couplage à double impact simultané

Comme nous l'avons montré plus haut, les relations science-industrie sont souvent envisagées par une lecture institutionnelle ou économique qui ne rend pas visible la façon dont s'organisent ces relations, comment les acteurs peuvent renforcer ou limiter leur potentiel créatif pour ces deux activités, comment ces deux activités peuvent également s'asservir et se contraindre l'une et l'autre. Or, pour envisager de mieux comprendre le fonctionnement d'un tel modèle, il est nécessaire d'avoir l'outillage théorique pour comprendre ces phénomènes.

¹⁸ Nelson (1962) dans une étude sur la découverte du transistor aux Bell Laboratories écrit notamment : « *Further, problems relating to practical devices are often very interesting ones. Bardeen and Brattain found the problem of why Shockley's field effect amplifier did not work extremely exciting as a scientific one. And results worthwhile from the purest scientific point of view came from their efforts to explain the failure of the amplifier* » (p. 576-577)

¹⁹ À ce titre, les deux bombes atomiques lancées par les américains sur le Japon seront deux procédés scientifiques et techniques complètement différents.

Premièrement, soulignons les travaux de Narayanamurti & Odumosu (2016) qui permettent de mettre en lumière, au travers de cas d'études approfondies, la possibilité d'un couplage à double impact simultané. Les auteurs documentent de nombreux cas, notamment chez les Prix Nobel de Physique, « d'inspiration » par l'industrie. Les auteurs prolongent à ce titre les travaux de Stokes (1997) et le « modèle Pasteur » qui supposait qu'il pouvait exister un modèle de recherche alternatif de recherche fondamentale qui s'intéresserait à l'usage des découvertes scientifiques (contrairement à un modèle plutôt « science pure » à la Borh). Ces travaux ont d'ailleurs été récemment réactualisés par Tijssen (2018) qui montre que ce type de recherche peut être particulièrement performant.

Deuxièmement, évoquons les travaux récents s'appuyant sur le modèle de la théorie C-K (Hatchuel & Weil, 2003, 2009). Comme le montrent Hatchuel et al. (2013) l'un des avantages de la théorie C-K, et qu'elle permet de décrire adéquatement et dans un cadre commun, le raisonnement cognitif associé à la fois aux activités de développement de produits, mais aussi aux activités de recherche scientifique. Elle permet également de décrire adéquatement les effets de fixations, c'est-à-dire des voies qui viendraient, par les interactions entre les deux acteurs, devenir difficiles à explorer pour les acteurs (Agogué & Le Masson, 2014). La théorie C-K s'est d'ailleurs révélée utile pour mieux comprendre les interactions entre science-industrie sur ces cas particuliers comme les partenariats de recherche (Gillier et al., 2010) ou les thèses CIFRE (Klasing Chen et al., 2017). La théorie C-K s'avère donc utile pour creuser le fonctionnement du couplage à double impact simultané (Plantec, 2021a). Des études ont été menées sur sa pertinence notamment pendant la période du Covid-19 où il était nécessaire de développer à la fois des connaissances scientifiques nouvelles sur ce virus, mais aussi des médicaments ou des vaccins (Plantec et al., 2021b).

Ainsi, les avancées récentes en sciences de gestion nous permettent de mieux comprendre le fonctionnement d'un tel modèle de couplage science-industrie à double impact simultané et ouvre une voie de recherche innovante et prometteuse pour la recherche en sciences de gestion.

4. Conclusion

L'objectif de cet article était de définir la notion de couplage science-industrie, proposée dans le but de mieux comprendre la complexité des relations entre ces deux sphères, tout en adoptant une approche gestionnaire plutôt que des approches institutionnelles ou économiques qui ont montré leurs limites.

Nous avons pu définir la notion de couplage science-industrie comme suit : un modèle de liaisons entre des activités de recherche scientifique et des activités de développement de produits, procédés et services qui peut induire (1) des effets réciproques de potentiel d'exploration et de créativité, et (2) des effets de dépendances entre ces deux activités. L'intérêt de cette définition est d'explorer la manière dont les activités de recherche scientifique et de développement de produits

peuvent conduire ou non à des formes d'échanges créatifs mutuels, voire des logiques de dépendance et d'asservissement.

Nous avons utilisé cette notion pour explorer trois cas classiques de relations S-I que nous avons considéré comme des doctrines : le transfert, la recherche industrielle et la recherche partenariale. Pour chacun de ces cas, nous avons tenté de mieux comprendre leur fonctionnement, leur organisation, et leur performance au prisme de la notion de couplage, dans les cas dominants.

Premièrement, le cas du transfert conduit à un modèle de couplage que nous avons qualifié de linéaire, où l'apport créatif est unidirectionnel car le moteur est la séparation des activités, ce qui explique ces performances en deçà des attentes puisque l'une des parties est laissée de côté du point de vue de l'apport cognitif de la relation. Deuxièmement, dans le cas de la recherche industrielle, nous montrons qu'un modèle de couplage original semble avoir d'abord émergé, mais il a été remplacé par un modèle de couplage dit hybride : un mélange des genres entre ce qui fait science et industrie, et qui semble nuire à la qualité du savoir scientifique produit. Enfin, la recherche partenariale semble recouvrir une telle variété de situations, qu'elle s'apparente in fine aux deux couplages précédents.

Bien entendu, il s'agit ici de décrire les cas dominants : il existe des exceptions (IRT, thèses CIFRE, ARPA-E, etc.) qui ne semblent pas correctement décrites par les couplages précédemment évoqués. C'est pour cela que nous proposons de développer la notion de couplage à double impact simultané : un modèle sans asservissement, mais avec un enrichissement mutuel renforçant la capacité d'exploration de chacune des deux activités. S'il peut paraître à première vue naïf, ce modèle est pourtant dans l'air du temps car prôné par de nombreuses organisations et acteurs publics. Il semble également permettre de pouvoir décrire des cas anciens peut-être mal compris, notamment de la recherche industrielle. Enfin, les avancées récentes en sciences de gestion comme la théorie C-K ont déjà permis quelques avancées pour mieux comprendre ce phénomène.

Nos travaux offrent des pistes de réflexion concrètes pour les décideurs publics et les praticiens, ainsi que pour la recherche en sciences de gestion.

Premièrement, notre description du modèle de couplage à double impact simultané devrait permettre d'ouvrir la voie à des travaux futurs pour mieux comprendre ce phénomène, et beaucoup reste à faire dans ce cadre. Il sera nécessaire d'identifier des cas multiples, de comprendre les conditions d'existence de ce modèle qui est nécessairement restrictif, d'évaluer ces performances, et d'explorer des façons nouvelles de le piloter.

Deuxièmement, notre approche permet aux décideurs publics de pointer certains écueils des politiques publiques mises en place pour favoriser les relations S-I, et les différentes catégories de couplages pourraient permettre de s'interroger sur la façon de remettre au cœur des dispositifs, les gains cognitifs et d'exploration pour les différentes parties prenantes. Il peut s'agir par exemple de rénover certains dispositifs de relations science-industrie en mettant l'accent en amont, sur les façons

dont les chercheurs des OPR pourraient accéder à des connaissances nouvelles dans leur interaction avec l'industrie, et qui pourraient alimenter leurs travaux.

Ainsi, cette recherche ouvre la voie à un renouvellement de notre compréhension des relations science – industrie, et nous espérons que d'autres chercheurs en sciences de gestion pourront s'en saisir.

5. Bibliographie

- Aghion, P., Dewatripont, M., & Stein, J. C. (2008). Academic freedom, private-sector focus, and the process of innovation. *RAND Journal of Economics*, 39(3), 617–635. <https://doi.org/10.1111/j.1756-2171.2008.00031.x>
- Agogué, M., & Le Masson, P. (2014). Rethinking ideation: a cognitive approach of innovation lock-ins. *The International Society for Professional Innovation Management*, 1–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.5465/ambpp.2015.15303abstract>
- Arora, A., Belenzon, S., & Pataconi, A. (2018). The decline of science in corporate R&D. *Strategic Management Journal*, 39(1), 3–32. <https://doi.org/10.1002/smj.2693>
- Berger, S., Dorman, R., & Starbuck, H. (2016). *Reforms in the French Industrial Ecosystem*.
- Bhaskarabhatla, A., & Hegde, D. (2014). An organizational perspective on patenting and open innovation. *Organization Science*, 25(6), 1744–1763. <https://doi.org/10.1287/orsc.2014.0911>
- Bruneel, J., D'Este, P., & Salter, A. (2010). Investigating the factors that diminish the barriers to university-industry collaboration. *Research Policy*, 39(7), 858–868. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.03.006>
- Buderi, R. (2000). *Engines of tomorrow: How the worlds best companies are using their research labs to win the future*. Simon and Schuster Ltd.
- Bush, V. (1945). *Science, the endless frontier; a report to the President on a program for postwar scientific research*. NSF Archive. <https://doi.org/B00B3K4WAA>
- Carnino, D. G. (2015). *L' Invention de la science : La nouvelle religion de l' ge industriel*. Le Seuil.
- Cockburn, I., & Henderson, R. (1998). Absorptive capacity, coauthoring behavior, and the organization of research in drug discovery. *The Journal of Industrial Economics*, 46(2), 157–182. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Copyright+ 2001.+All+Rights+Reserved.#0%0Ahttp://www.chronos.msu.ru/lab-kaf/Kazaryan/kaz-taylor.html>
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*. <https://doi.org/10.2307/2393553>
- Cohen, W. M., Nelson, R. R., & Walsh, J. P. (2002). Links and Impacts: The Influence of Public Research on Industrial R and D. *Management Science*, 48(1), 1–23.
- Comin, D., Licht, G., Pellens, M., & Schubert, T. (2018). Do Companies Benefit from Public Research Organizations ? The Impact of the Fraunhofer Society in Germany Papers in Innovation Studies Do Companies Benefit from Public Research Organizations ? The Impact of the Fraunhofer Society in Germany. *Innovation Studies*, 7.
- Comptes, C. des. (2018). *Les outils du PIA consacr s   la valorisation de la recherche publique*.
- David, P., & Dasgupta, P. (1994). Towards a new economics of science. *Research Policy*, 23, 487–521.
- Descartes, R. (1637). *Discours de la méthode : essai philosophique de René Descartes ( dition 2020)*.

- D'Este, P., & Perkmann, M. (2011). Why do academics engage with industry? The entrepreneurial university and individual motivations. *Journal of Technology Transfer*, 36(3), 316–339. <https://doi.org/10.1007/s10961-010-9153-z>
- FutuRIS. (2016). *Regards croisés sur la recherche partenariale Regards croisés sur la recherche partenariale Comment se construisent les relations.*
- Ganco, M. (2013). Cutting the Gordian Knot: The effect of knowledge complexity on employee mobility and entrepreneurship. *Strategic Management Journal*, 34, 666–686. <https://doi.org/10.1002/smj>
- Gillier, T., & Lenfle, S. (2019). Experimenting in the Unknown: Lessons from The Manhattan Project. *European Management Review*, 16(2), 449–469. <https://doi.org/10.1111/emre.12187>
- Gillier, T., Piat, G., Roussel, B., & Truchot, P. (2010). Managing innovation fields in a cross-industry exploratory partnership with C-K design theory. *Journal of Product Innovation Management*, 27(6), 883–896. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2010.00758.x>
- Godin, B. (2006). The Linear model of innovation, the historical construction of an analytical framework. *Science, Technology & Human Values*, 31(6), 639–667. <https://doi.org/10.1177/0162243906291865>
- Godin, B., & Lane, J. (2013). Pushes and Pulls: Hi(S)tory of the Demand Pull Model of Innovation. *Science Technology and Human Values*, 38(5), 621–654. <https://doi.org/10.1177/0162243912473163>
- Goldstein, A. P., & Narayanamurti, V. (2018). Simultaneous pursuit of discovery and invention in the US Department of Energy. *Research Policy*, 47(8), 1505–1512. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.05.005>
- Hatchuel, A., Reich, Y., Le Masson, P., Weil, B., & Kazakçi, A. O. (2013). Beyond Models and Decisions : Situating Design Through Generative Functions. *ICED13: 19th International Conference on Engineering Design, August*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.08.005>
- Hatchuel, A., & Weil, B. (2003). A new approach of innovative design: an introduction to C-K theory. *International Conference on Engineering Design ICED 03*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2003.08.005>
- Hatchuel, A., & Weil, B. (2009). CK Design Theory: An Advanced Formulation. *Research in Engineering Design*, 19(4), 181–192. <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0043-4>
- Horton, J., Krishna Kumar, D., & Wood, A. (2020). Detecting academic fraud using Benford law: The case of Professor James Hunton. *Research Policy*, 49(8), 104084. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104084>
- Klasing Chen, M., Akin, P., Lagadec, L.-R., Laousse, D., Le Masson, P., & Weil, B. (2017). Designing the missing link between science and industry: Organizing partnership based on dual generativity. *21st International Conference on Engineering Design, ICED 2017*, 4(DS87-4), 307–316. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85029744337&partnerID=40&md5=c320dedd3652905ce1908e8ee60a78e5>
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press. https://books.google.pt/books/about/The_Structure_of_Scientific_Revolutions.html?id=3eP5Y_OUzWC&source=kp_cover&redir_esc=y%5Cnhttps://books.google.pt/books?id=3eP5Y_OUzWC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Lamy, E. (2006). *La fragmentation de la science à l'épreuve des start-ups . Retour critique sur un constructivisme social au travers de l'étude des modes de coordination des pratiques scientifiques et marchandes lors des projets de création d'entreprise par des chercheurs.*
- Lander, E. S. (2015). Perspective The Heroes of CRISPR. *Cell*, 164(1–2), 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.12.041>

- Laursen, K., & Salter, A. (2006). Open for innovation: The role of openness in explaining innovation performance among U.K. manufacturing firms. *Strategic Management Journal*, 27(2), 131–150. <https://doi.org/10.1002/smj.507>
- Le Masson, P. (2001). *De la R&D à la R.I.D.: Modélisation des fonctions de conception et nouvelles organisations de la R&D*. Ecole des Mines de Paris.
- Le Masson, P., & Weil, B. (2016). Fayol, Guillaume, Chevenard - La science, l'industrie et l'exploratoire de l'inconnu : logique et gouvernance d'une recherche conceptive. *Entreprises & Histoire*, 83(2), 79–107. <https://doi.org/10.3917/eh.083.0079>
- Le Masson, P., & Weil, B. (2021). *Histoire de l'entreprise et révolutions scientifiques : inventer des formes de liberté et de responsabilité face à l'inconnu* (pp. 1–35).
- Lenfle, S. (2011). The strategy of parallel approaches in projects with unforeseeable uncertainty: The Manhattan case in retrospect. *International Journal of Project Management*, 29(4), 359–373. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.02.001>
- Lenfle, S., & Petitgirard, L. (2020). L'invention du transistor aux Bell Labs ou la création d'une expertise sur un domaine inconnu. *Entreprises & Histoire*, 98(1), 94–119.
- Lipartito, K. (2009). Rethinking the Invention Factory: Bell Laboratories in Perspective. In S. H. Clarke, N. R. Lamoreaux, & S. W. Usselman (Eds.), *The Challenge of Remaining Innovative: Insights from Twentieth-century American Business* (pp. 132–162). Stanford University Press.
- Mansfield, E. (1995). Academic Research Underlying Industrial Innovations : Sources , Characteristics , and Financing. *The Review of Economics and Statics*, 77(1), 55–65.
- Markham, S. K., & Lee, H. (2013). Product development and management association's 2012 comparative performance assessment study. *Journal of Product Innovation Management*, 30(3), 408–429. <https://doi.org/10.1111/jpim.12025>
- Mårtensson, P., Fors, U., Wallin, S. B., Zander, U., & Nilsson, G. H. (2016). Evaluating research: A multidisciplinary approach to assessing research practice and quality. *Research Policy*, 45(3), 593–603. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.11.009>
- Mirowski, P. (2011). Science-Mart: Privatizing American Science. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Harvard University Press.
- Mowery, D. (2009). Plus ça change: Industrial R&D in the “third industrial revolution.” *Industrial and Corporate Change*, 18(1), 1–50. <https://doi.org/10.1093/icc/dtn049>
- Mowery, D., Nelson, R., Sampat, B., & Ziedonis, A. (2001). The growth of patenting and licensing by U.S. universities: An assessment of the effects of the Bayh-Dole act of 1980. *Research Policy*, 30(1), 99–119. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00100-6)
- Narayanamurti, V., & Odumosu, T. (2016). Cycles of Invention and Discovery: Rethinking the Endless Frontier. In *Harvard University Press*. <https://doi.org/10.5530/jscires.6.1.11>
- OECD. (2013). *Commercialising Public Research: New Trends and Strategies*.
- OECD. (2015). *Frascati Manual*.
- Piller, F., & West, J. (2014). Firms, Users, and Innovation. In Oxford University Press (Ed.), *New frontiers in Open Innovation* (p. 344). <https://doi.org/>
- Pisano, G. P. (2010). The Evolution of Science- Based Business : Innovating How We Innovate. *Industrial and Corporate Change*, 19(2), 465–482. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/icc/dtq013>
- Plantec, Q. (2021). *Couplages science – industrie à double impact : modélisation et tests empiriques* [MinesParistech - PSL Université]. <http://theses.fr/2021UPSLM027#>

- Plantec, Q., Sternberger, C., Le Masson, P., & Weil, B. (2021). Crises sanitaires et contributions industrielles à la recherche scientifique. *Revue Française de Gestion*, 47(299), 11–29. <https://doi.org/10.3166/rfg.2021.00561>
- Popper, K. (1959). *The logic of Scientific Discovery*. Hutchinson.
- Price, W. J., & Bass, L. W. (1969). Scientific Research and the Innovative Process. *Science*, 164(3881), 802–806. <https://www.jstor.org/stable/1726672%0AJSTOR>
- Proctor, R. N., & Girel, M. (2014). *Golden Holocaust - La conspiration des industriels du tabac* (Des Equate). <https://www.amazon.fr/Golden-Holocaust-conspiration-industriels-tabac/dp/2849902780>
- Shockley, W. (1976). The Path to the Conception of the Junction Transistor. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 23(7), 597–620. <https://doi.org/10.1109/T-ED.1976.18463>
- Sieg, J. H., Wallin, M. W., & Von Krogh, G. (2019). Managerial challenges in open innovation: a study of innovation intermediation in the chemical industry. *R and D Management*, no. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2009.00596.x>
- Slaughter, S. (1993). Beyond Basic Science: Research University Presidents' Narratives of Science Policy. *Science, Technology, & Human Values*, 18(3), 278–302. <https://doi.org/10.1177/016224399301800302>
- Slaughter, S., & Campbell, T. (2002). The “ Traffic ” in Graduate Students : Graduate Students as Tokens of Exchange between Academe and Industry. *Science, Technology & Human Values*, 27(2), 282–312.
- Stokes, D. (1997). *Pasteur's Quadrant. Basic science and technological innovation*. Brookings Institution.
- Taylor Aldridge, T., & Audretsch, D. (2011). The Bayh-Dole act and scientist entrepreneurship. *Research Policy*, 40(8), 1058–1067. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.04.006>
- Thursby, J. G., & Thursby, M. C. (2002). Who is selling the ivory tower? Sources of growth in university licensing. *Management Science*, 48(1), 90–104. <https://doi.org/10.1287/mnsc.48.1.90.14271>
- Tijssen, R. (2018). Anatomy of use-inspired researchers: From Pasteur's Quadrant to Pasteur's Cube model. *Research Policy*, 47(9), 1626–1638. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.05.010>
- Toole, A. A., & Czarnitzki, D. (2010). Commercializing science: Is there a university “brain drain” from academic entrepreneurship? *Management Science*, 56(9), 1599–1614. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1100.1192>
- Veugelers, R., & Cassiman, B. (2005). R&D cooperation between firms and universities. Some empirical evidence from Belgian manufacturing. *International Journal of Industrial Organization*, 23(5–6), 355–379. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2005.01.008>
- Zahra, S. A., Kaul, A., & Bolívar-Ramos, M. T. (2018). Why corporate science commercialization fails: Integrating diverse perspectives. *Academy of Management Perspectives*, 32(1), 156–176. <https://doi.org/10.5465/amp.2016.0132>