



Cyriac Massué

Valoriser les synergies franco-allemandes dans l'innovation au service de la transition énergétique:

Les leçons du Programme Inter Carnot Fraunhofer (PICF)



Cyriac Massué

Valoriser les synergies franco-
allemandes dans l'innovation au service
de la transition énergétique

Les leçons du Programme Inter Carnot Fraunhofer (PICF)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Universitätsverlag Potsdam 2021
<http://verlag.ub.uni-potsdam.de/>

Am Neuen Palais 10, 14469 Potsdam
Tel.: +49 (0)331 977 2533 / Fax: -2292
E-Mail: verlag@uni-potsdam.de

MEGA-Schriftenreihe

Herausgegeben von Isabella Proeller, Silvia von Steinsdorff,
Karl-Peter Sommermann, David Capitant, Fabrice Larat

Satz: text plus form, Dresden
Das Manuskript ist urheberrechtlich geschützt.
Umschlagbilder: Stefanie Herbst

Online veröffentlicht auf dem Publikationsserver
der Universität Potsdam
<https://doi.org/10.25932/publishup-49189>
<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-491892>

Vorwort

Die Wahrnehmung staatlicher Aufgaben steht heute in fast allen Bereichen im europäischen oder internationalen Kontext. Erfolgreiche administrative Gestaltung erfordert in zunehmendem Maß grenzübergreifende, europäische Orientierung und profunde Kenntnisse des politischen, administrativen und rechtlichen Umfelds auch außerhalb des nationalen Rahmens.

In diesem Bewusstsein haben der deutsche Bundeskanzler und der Präsident der französischen Republik im Jahr 2003 anlässlich des 40. Jahrestags des Elysée-Vertrags ein gemeinsames deutsch-französisches Qualifizierungsprogramm initiiert, den „Master of European Governance and Administration“ (MEGA), der sich vor allem an Angehörige des höheren Dienstes beider Staaten wendet. Bisher haben über 160 Beschäftigte des öffentlichen Dienstes beider Länder, aber auch Teilnehmende aus Verwaltungen anderer europäischer Staaten und der Privatwirtschaft das MEGA-Programm erfolgreich abgeschlossen.

Der postgraduale MEGA-Studiengang wird von einem deutsch-französischen Konsortium durchgeführt. Die federführenden Ministerien sind in Deutschland das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat/Bundesakademie für öffentliche Verwaltung (BAköV) und in Frankreich das Ministerium für den öffentlichen Dienst. Die akademischen Partner sind in Deutschland die Universität Potsdam, die Humboldt-Universität zu Berlin und die Deutsche Universität für Verwaltungswissenschaften Speyer und in Frankreich die Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne und die École nationale d'administration (ENA). Die beteiligten Universitäten verleihen einen international anerkannten Joint Degree.

Im Sinne eines wissenschaftsbasierten, aber praxisorientierten Executive Programms erarbeiten die MEGA-Studierenden in ihrer abschließenden Master-Arbeit eine selbstgewählte Fragestellung anhand der im Studium vermittelten

Erklärungsansätzen. In vielen Fällen beziehen sich die Master-Arbeiten auf Beratungsbedarf der entsendenden Dienststelle oder auf ein konkretes Projekt aus dem im Studiengang absolvierten Praxismoduls.

Im Jahr 2019 werden zum ersten Mal die besten Master-Arbeiten des neunten Jahrgangs durch die Universität Potsdam veröffentlicht. Damit wollen wir einer interessierten Öffentlichkeit die von den Studierenden geleisteten Beiträge zu einer besseren deutsch-französischen Verwaltungszusammenarbeit zugänglich machen und die Praxisrelevanz des MEGA-Programms stärken.

Das MEGA-Konsortium

www.mega-master.eu



Préface

De nos jours, l'action publique est impactée dans presque tous les domaines par le contexte européen ou international. Pour pouvoir être efficace, le travail des administrations doit de plus en plus tenir compte de ce qui se passe hors des frontières nationales et nécessite, de la part des agents publics, des connaissances approfondies de l'environnement politique, administratif et juridique de nos principaux voisins.

Dans cette optique, lors du 40ème anniversaire du Traité de l'Élysée le 22 janvier 2003, le président de la République française et le Chancelier fédéral allemand ont initié un programme conjoint de formation en administration publique s'adressant principalement aux cadres de la fonction publique des deux pays. A ce jour, plus de 160 fonctionnaires français et allemands, ainsi que des participants des administrations d'autres pays européens et du secteur privé, ont suivi avec succès le programme MEGA.

Ce programme de formation continue est géré par un consortium franco-allemand. Les ministères responsables sont le ministère fédéral allemand de l'Intérieur, de la Construction et du Territoire/l'Académie fédérale d'administration publique (BAköV) et le ministère français de la Fonction publique. Les partenaires académiques sont l'École nationale d'administration (ENA), l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, l'Université de Potsdam, l'Université Humboldt de Berlin et l'Université Allemande des Sciences Administratives Speyer. Les universités participantes décernent un *Joint Degree* reconnu au niveau international.

Les étudiants du MEGA développent dans leur mémoire de master une question de leur choix, en s'appuyant sur les théories enseignées dans le cadre du programme. Celui-ci étant résolument orienté vers la pratique, il est courant que les sujets des mémoires répondent à un besoin d'expertise spécifique de l'ins-

titution d'envoi ou qu'ils portent sur un projet réalisé dans le cadre du stage obligatoire.

En 2019, l'Université de Potsdam publiera pour la première fois les meilleurs mémoires de master de la neuvième promotion. Nous poursuivons ainsi un double objectif : rendre accessibles à un public intéressé les contributions des étudiants à une meilleure coopération administrative franco-allemande et renforcer la pertinence du programme MEGA pour la pratique.

Le consortium du MEGA

www.mega-master.eu



Table des matières

Introduction	XI
Remerciements	XIII
Glossaire	XIX
1 Introduction	1
2 Situation de la R&D énergétique en France et en Allemagne	5
2.1 Objectifs et défis	5
2.2 Etat de la R&D énergétique en France et en Allemagne	8
2.2.1 France	8
2.2.2 Allemagne	13
2.2.3 Le rôle de l'Europe	20
2.2.4 Innovation dans le secteur privé	22
3 La coopération franco-allemande en matière de R&D énergétique	27
3.1 Les formats de la coopération franco-allemande en matière de R&D	27
3.2 Evolution récente de la coopération franco-allemande en matière de R&D énergétique	29
3.3 Etude d'un programme de R&D appliquée franco-allemand	32
3.3.1 Mise en place du Programme Inter Carnot Fraunhofer (PICF)	32
3.3.2 Le projet CEA-Fraunhofer SOLARBOND	35
3.3.3 Bilan du projet SOLARBOND	38
3.3.4 Bilan du PICF	40
	IX

4 Perspectives pour la R&D franco-allemande dans le contexte de la transition énergétique	43
4.1 Obstacles... ..	43
4.1.1 ...au niveau individuel	43
4.1.2 ...au niveau institutionnel	46
4.1.3 ...au niveau politique	51
4.2 Facteurs de réussite... ..	54
4.2.1 ...au niveau individuel	54
4.2.2 ...au niveau institutionnel	55
4.2.3 ...au niveau politique	59
4.3 Pistes d'action	61
5 Conclusion	69
6 Annexes	73
6.1 Annexe A : Aspects historiques de la R&D énergétique depuis 1945	73
6.1.1 France	73
6.1.2 Allemagne	81
6.2 Annexe B : Aspects historiques de la coopération franco-allemande en matière de R&D énergétique	88
Liste des figures	95
Liste des tableaux	97
Bibliographie	99

Introduction

Le présent mémoire de master a été admis dans le cadre Master européen de gouvernance et d'administration (MEGA) en novembre 2018. Il est entre autres le fruit d'un stage effectué en 2017 dans le cadre du MEGA auprès de la Direction de la recherche technologique (DRT) du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), basée à Grenoble. Le CEA cherchait à l'époque à gagner une vue d'ensemble de la R&D énergétique allemande, en vue de définir des thématiques d'intérêt communes, en particulier autour des nouvelles technologies de l'énergie (NTE).

En l'occurrence, la DRT, s'est montrée particulièrement intéressée pour accueillir un stagiaire MEGA chargé d'analyser la situation allemande. Ces activités ont permis de mettre en lumière le grand potentiel des partenariats franco-allemands dans le domaine des NTE et les nombreuses synergies inexploitées. La transition énergétique est particulièrement riche en opportunités pour une coopération franco-allemande innovante et mutuellement bénéfique.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les conditions nécessaires à une exploitation efficace des synergies franco-allemandes autour des NTE, notamment en analysant les résultats d'un programme commun franco-allemand, le Programme Inter Carnot Fraunhofer (PICF). L'analyse du chemin parcouru à ce jour par la coopération franco-allemande en matière de recherche énergétique doit permettre de formuler un certain nombre de recommandations pour le développement de futurs programmes bilatéraux. Un rapprochement franco-allemand dans le domaine des NTE se fera à travers le développement d'outils de financement et d'incitations efficaces, conduisant à une mutualisation des moyens en faveur de l'innovation de rupture.

Remerciements

Au terme de la rédaction de ce mémoire, je souhaite tout particulièrement exprimer ma gratitude et mes remerciements à tous ceux qui, par leur enseignement, leur soutien et leurs conseils, m'ont soutenu dans sa réalisation. Ma gratitude va d'abord à Monsieur le Dr. Seidendorf de l'Institut franco-allemand (DFI) qui, de l'étape de réflexion initiale jusqu'à la finition, s'est montré d'une grande disponibilité et réactivité dans nos discussions, aussi bien sur le fond que sur la forme de cette étude. Je tiens également à remercier Monsieur le Prof. Baasner du DFI, qui lors de notre entretien m'a lancé sur plusieurs pistes de réflexion essentielles à mon analyse de la coopération franco-allemande. Ma gratitude va également à Monsieur le Dr. Loeffler de la fondation Steinbeis, qui a apporté de précieux éléments à la réflexion initiale sur le sujet traité.

Un étape importante de mon travail de recherche a été mon séjour à la bibliothèque du DFI, facilité par une bourse de recherche de la fondation Wüstenrot. Je tiens à mentionner ici l'aide précieuse du bibliothécaire du DFI, M. Villinger, qui s'est montré d'une grande disponibilité à mes nombreuses requêtes.

Les interlocuteurs praticiens sollicités dans le cadre de mes recherches ont joué un rôle déterminant pour ma compréhension des mécanismes fins de la coopération scientifique franco-allemande. Dans ce contexte, ma gratitude s'adresse en particulier à Monsieur le Dr. Clerc du CEAtch, ainsi qu'à Monsieur le Dr. Dimroth et Monsieur le Dr. Tippmann de la Société Fraunhofer. Je tiens également à souligner la contribution des nombreux interlocuteurs du CEA à Grenoble, qui en acceptant de répondre à mes questions dans le contexte de mon stage MEGA, ont orienté ma réflexion sur les défis de la coopération franco-allemande en matière de recherche.

Remerciements

Monsieur le Dr. Glotzbach d'ESYS et M. le Dr. Horstmann du bureau Bruxelles de la MPG ont été des interlocuteurs clés pour mon analyse de la coopération scientifique franco-allemande dans le contexte européen. En outre, je souhaite exprimer ma gratitude aux interlocuteurs du secteur public, qui ont accepté de répondre à mes questions sur les orientations stratégiques du soutien public à la R&D énergétique. Il s'agit en particulier de Monsieur le Dr. Völkel du BMBF et de Monsieur le Dr. Vach du BMWi. Une pensée particulière s'adresse également au Prof. Schlögl de la MPG, qui m'a fait profiter de son analyse experte des défis à venir de la R&D énergétique.

Enfin, je tiens à remercier l'Ecole nationale d'administration (ENA) et toute l'équipe du MEGA pour m'avoir soutenu tout au long des étapes qui ont jalonné mon parcours d'études.

Berlin, le 14 novembre 2018

Résumé Face à l'urgence environnementale, l'innovation dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie (NTE) constitue un défi primordial. Les NTE constituent un marché concurrentiel en pleine expansion, où s'affrontent dès à présent les acteurs de l'innovation internationale. La R&D énergétique représente donc pour l'Europe un défi multiple : Il s'agit de développer les technologies qui nous permettront de réduire nos émissions de gaz à effet de serre et nos dépendances énergétiques. L'innovation produite devra également garantir la place de l'industrie européenne à la pointe du marché des NTE dans un contexte hautement compétitif. La collaboration franco-allemande en matière de R&D énergétique recèle ici un potentiel d'innovation disruptive particulièrement important, grâce à des paysages de R&D fortement complémentaires. Les programmes bilatéraux constituent un outil prometteur pour la valorisation des synergies inexploitées. En permettant la mise en place de partenariats franco-allemands restreints, autour de thématiques précises, ils constituent en effet un outil complémentaire aux programmes européens. Le *Programme Inter Carnot-Fraunhofer* (PICF) constitue un exemple abouti de programme bilatéral ayant permis la concrétisation de collaborations mutuellement bénéfiques dans le domaine des NTE, grâce à la mise au point d'une procédure harmonisée. Néanmoins, l'analyse du PICF montre également que les programmes bilatéraux franco-allemands devront prévoir la possibilité de financements-relai afin de pérenniser les échanges. Dans le contexte particulier des NTE, une extension aux projets de démonstration ainsi qu'un ciblage des sujets porteurs sur la base d'un comité consultatif scientifique indépendant paraissent indispensables. Ces efforts franco-allemands pourront servir de modèle à l'innovation de rupture basée sur la valorisation des synergies intra-européennes.

Zusammenfassung Im Kontext steigender Umweltbelastungen stellen Innovationen auf dem Gebiet der Energietechnologien eine zentrale Herausforderung dar. Dieser rapide wachsende Markt ist schon heute der Schauplatz eines erbitterten internationalen Wettbewerbs. Somit stellt die Energieforschung für Europa eine mehrfache Herausforderung dar: Die entwickelten Technologien

sollen dabei helfen unsere Treibhausgasemissionen zu verringern und gleichzeitig unsere Abhängigkeiten beschränken. Zudem soll die produzierte Innovation dazu beitragen, den Industriestandort Europa als Spitzenreiter auf dem weltweit umkämpften Markt der Energietechnologien zu positionieren. Dank der sich stark ergänzenden nationalen Forschungslandschaften, birgt die deutsch-französische Energieforschungskoooperation ein besonders hohes Potenzial. Bilaterale Forschungsprogramme sind ein vielversprechendes Werkzeug um ungenutzte Synergien zu fördern. Indem gezielt deutsch-französische Partnerschaften um bestimmte Fragestellungen angesprochen werden, vervollständigen bilaterale Programme die europäischen Förderwerkzeuge. Das *Programm Inter Carnot Fraunhofer* (PICF) ist ein ausgereiftes Beispiel eines solchen Programms. Dank harmonisierter Prozeduren, konnten gegenseitig vorteilhafte Kooperationsprojekte im Energiebereich verwirklicht werden. Die Untersuchung des PICF zeigt allerdings auch, dass bilaterale Förderprogramme die Möglichkeit einer Anschlussfinanzierung beinhalten müssen, um die angegangene Zusammenarbeit zu erhalten und zur Vollendung zu bringen. Im Kontext der Energieforschung sollten ebenfalls Demonstrationsprojekte in die Zielgruppe der bilateralen Förderprogramme aufgenommen werden. Ausschreibungen sollten thematisch eingegrenzt werden, fußend auf den Empfehlungen eines unabhängigen wissenschaftlichen Gremiums. Die deutsch-französischen Bestrebungen werden als Beispiel dafür dienen, wie innereuropäische Synergien zu bahnbrechender Innovation geführt werden können.

Abstract In the context of increasing environmental concerns, innovation in the field of energy technologies represents a central bottleneck. This rapidly growing market is already the scene of fierce international competition. Energy research therefore represents multiple challenges for Europe: The developed technologies should help reduce greenhouse gas emissions, while at the same time limiting our dependencies. In addition, the produced innovation should help position industrial Europe as a frontrunner in the globally competitive energy technology market. Thanks to the highly complementary national research landscapes, the Franco-German energy research cooperation has particularly high potential. Bilateral research programs are a promising tool for promoting untapped synergies. By addressing bilateral Franco-German partnerships on specific issues, bilateral programs complete the European funding tools. The

Inter Carnot Fraunhofer Program (PICF) is a mature example of such a program. Thanks to harmonized procedures, mutually beneficial cooperation projects in the energy sector could be realized. The PICF investigation also shows, however, that bilateral funding programs must include the possibility of follow-up funding in order to maintain the cooperation and bring it to completion. In the context of energy research, demonstration projects should also be included in the target group of the bilateral funding programs. Calls for proposals should be thematically limited based on the recommendations of an independent scientific body. Franco-German endeavors could then serve as a model of how intra-European synergies can be transformed into groundbreaking innovation.

Glossaire

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AIC	Association des Instituts Carnot
ANR	Agence nationale de la recherche
BERD	Business expenditure on R&D (dépense de R&D du secteur privé)
BFHZ	Bayrisch-französisches Hochschulzentrum (Centre de coopération universitaire franco-bavarois)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung (ministère de l'Education et de la Recherche)
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (ministère de l'Environnement, de la Protection naturelle, de la Construction et de la Sureté nucléaire)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (ministère de l'Economie et de l'Energie)
BRD	Bundesrepublik Deutschland (République fédérale d'Allemagne)
CEA	Commissariat à l'énergie atomique [et aux énergies alternatives <i>depuis 2010</i>]
CGI	Commissariat général à l'investissement
CIR	crédit impôt recherche
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency (Agence pour les projets de recherche avancée de défense)
DDR	Deutsche Demokratische Republik (République démocratique d'Allemagne)
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft (Fondation allemande pour la recherche)
DFKZ	Deutsches Krebsforschungszentrum (Centre de recherche sur le Cancer)

DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EIC	European Innovation Council (Conseil européen de l'innovation)
Energie- wende	Transition énergétique allemande
Energie- forschungs- programm	Programme fédéral cadre de la R&D énergétique
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft (Société Fraunhofer)
FZJ	Forschungszentrum Jülich
GERD	Gross domestic expenditure on R&D (dépense nationale brute en R&D)
GIF	German-Israeli Foundation for Scientific Research and Development (Fondation germano-israélienne pour la recherche scientifique et le développement)
GOVERD	Government expenditure on R&D (dépense gouvernementale en R&D)
GWK	Gemeinsame Wissenschaftskonferenz (Conférence scientifique commune)
HGF	Association Helmholtz des centres de recherche allemands (Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren)
IEA	International Energy Agency (Agence internationale de l'énergie)
IKTS	Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme
INSERM	Institut national de la santé et de la recherche médicale
JEDI	Joint European Disruptive Initiative (Initiative européenne conjointe de disruption)
LITEN	Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux
MEAE	Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères
MESR(I)	Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche (et de l'Innovation)
MPG	Max-Planck-Gesellschaft (Société Max Planck)
NTE	Nouvelles technologies de l'énergie
NTIC	Nouvelles technologies de l'information et de la communication
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques

PCRD	Programme-cadre pour la recherche et le développement technologique
PIA	Programme des investissements d'avenir
PIB	Produit intérieur brut
PME	Petites et moyennes entreprises
RTO	research and technology organisations (organismes technologiques et de recherche)
SER	Sources d'énergie renouvelable
SNRE	Stratégie nationale de la recherche énergétique
TRL	Technology readiness level (niveau de maturité technologique)

1 Introduction

En ce début de XXI^e siècle, l'humanité est à la recherche d'un système énergétique durable, qui permettrait de concilier considérations économiques et protection de l'environnement. Dans ce contexte, de grands espoirs reposent sur les sources d'énergie renouvelables (SER). Les SER défossilisées, déconcentrées et inépuisables, présentent de nombreux avantages par rapport aux ressources fossiles traditionnelles. Néanmoins, du fait de leur nature intermittente, les SER ne peuvent se substituer aux technologies traditionnelles de manière simple. La transition énergétique constitue donc un défi technologique majeur.

Du fait de l'évolution démographique mondiale, c'est la voie choisie par les nations en développement qui sera déterminante. Les pays développés tiendront néanmoins une place centrale dans cette transition, du fait de leurs systèmes d'innovation technologique performants. En effet, il s'agit désormais de développer les nouvelles technologies de l'énergie (NTE) nécessaires à l'intégration systémique des SER. En tant que pôle majeur de l'innovation énergétique, l'Europe est face à une fenêtre d'opportunité afin de se positionner sur le marché des NTE. Un tel positionnement permettra d'assurer la place des industries européennes à la pointe de l'innovation dans un marché à fort potentiel de croissance.

Le renforcement des capacités d'innovation européennes dans le domaine des NTE relève également d'une dimension géostratégique. En effet, l'Europe doit faire face à un danger de nouvelle dépendance énergétique. Contrairement à des pays développés comme les États-Unis, les analyses de l'IEA montrent que le potentiel européen en ressources renouvelables ne permettra pas de couvrir l'ensemble des besoins énergétiques.¹ Les imports fossiles seront remplacés en

¹ Trevor Brown, « Renewable Energy for Industry: IEA's Vision for Green Ammonia as Feedstock, Fuel, and Energy Trade », *AMMONIA INDUSTRY*, 2017, <https://ammoniaindus>

partie par des imports renouvelables (électricité, hydrogène et ses dérivés). Afin de limiter ses dépendances, l'Europe devra donc créer un système énergétique renouvelable unifié et basé sur une exploitation optimisée de ses ressources.² Le développement des NTE à la base de ce système permettra d'équilibrer la balance commerciale européenne grâce à une nouvelle industrie exportatrice de haute technologie.

Il apparaît donc que la création d'un système énergétique européen renouvelable et indépendant sera fortement conditionnée par l'efficacité des capacités d'innovation européennes. Une mutualisation consensuelle des capacités d'innovation nationales, basée sur des synergies naturelles, serait un élément important d'une innovation énergétique européenne de pointe.³ Or, malgré les sommes importantes dévolues aux programmes cadre de soutien à la R&D,⁴ la création d'un espace de recherche européen est toujours un projet en chantier. Dans ce contexte, une collaboration franco-allemande renforcée en matière de R&D pourrait jouer un rôle pionnier. En effet, la France et l'Allemagne sont des acteurs de premier plan de la R&D mondiale, respectivement à la 7^e et à la 4^e place des dépenses par pays en matière de R&D en 2014.⁵ Face aux défis environnementaux, la France et l'Allemagne affichent également des objectifs à long et moyen terme remarquablement similaires.⁶ Enfin, des évolutions historiques

try.com/renewable-energy-for-industry-ieas-vision-for-green-ammonia-as-feedstock-fuel-and-energy-trade/ [accessed 9 October 2018].

² Robert Schlögl and Jürgen Renn, « Manifest zur Energiewende – Warum wir einen radikalen Systemwechsel brauchen », *Der Tagesspiegel Online*, 5 March 2018, <https://www.tagesspiegel.de/wissen/manifest-zur-energiewende-warum-wir-einen-radikalen-systemwechsel-brauchen/21023736.html> [accessed 2 October 2018].

³ Jean Therme, « Les défis technologiques et industriels des énergies décarbonées, The technological and industrial challenges of carbonfree energy », *Annales des Mines – Responsabilité et environnement*, 2011, 92–97, <https://doi.org/10.3917/re.061.0092>.

⁴ Vincent Reillon, EU Framework Programmes for Research and Innovation: Evolution and Key Data from FP1 to Horizon 2020 in View of FP9 – Think Tank (European Parliamentary Research Service, September 2017), [http://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_IDA\(2017\)608697](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_IDA(2017)608697) [accessed 2 October 2018].

⁵ « Research and Development Expenditure (% of GDP) | Data », <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?end=2015&start=2015&view=bar> [accessed 12 February 2018].

⁶ Severin Fischer, « Comparatif Des Politiques Énergétiques : Les Voies Française et Allemande Pour La Transformation Du Système Énergétique », in *La Transition Énergétique. Un Défi Franco-Allemand et Européen* (CIRAC, 2017), pp. 45–52, <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/169530> [accessed 26 February 2018].

distinctes de part et d'autre du Rhin, ont menées à des paysages de R&D énergétique fortement complémentaires dans le domaine des NTE. En l'occurrence, la coopération scientifique franco-allemande recèle un fort potentiel d'innovation de rupture. En outre, le succès du tandem franco-allemand présenterait un signal fort aux autres partenaires européens pour la construction d'une Europe de l'énergie positionnée à l'avant-garde des NTE.

Le fort potentiel de la coopération franco-allemande en matière de recherche s'était illustré dès 1967 avec la création de l'Institut franco-allemand Laue-Langevin (ILL), resté pendant des décennies la plus grande source de neutrons au monde. Jusqu'à ce jour, la coopération scientifique franco-allemande se distingue par des échanges intenses, facilités par des parcours d'enseignement franco-allemands et de nombreuses bourses s'adressant aux jeunes chercheurs. La valorisation rapide des potentielles synergies franco-allemandes en matière de NTE nécessite néanmoins la mise en place d'outils de soutien spécifiques.

En effet, si l'objectif d'une coopération renforcée est bien le développement de NTE innovantes et proches de besoins des entreprises, de tels projets franco-allemands comporteront une part importante de recherche technologique et de développement. Ce type de projets nécessite des investissements matériels importants, qui vont bien au-delà des simples échanges de personnel. De plus, à un stade de développement précoce, l'innovation de rupture peine à trouver des investisseurs privés et se trouve donc fortement dépendante de financements publics. Il en résulte qu'un effort bilatéral fructueux dans le domaine des NTE implique la mise en place de programmes de financements publics.

Or, depuis le début des années 2000, les acteurs publics français et allemands ont bien mené un effort conjoint allant dans cette direction, avec le lancement plusieurs programmes de soutien à la collaboration bilatérale en matière de recherche. Ces programmes se sont positionnés comme un outil complémentaire aux outils européens, en permettant la mise en place de consortiums restreints à des partenariats franco-allemands. Un exemple particulièrement abouti et en phase avec les besoins des NTE a été le *Programme Inter Carnot-Fraunhofer* (PICF). Ce programme devait permettre l'établissement de partenariats franco-allemands stratégiques dans le domaine de la R&D industrielle, notamment sur les thématiques énergétiques et environnementales.

Introduction

Afin d'identifier les éléments clés de la réussite d'un effort franco-allemand conjoint en matière de NTE, la présente étude se propose d'analyser le PICF. L'identification des facteurs de réussite du PICF, ainsi que l'analyse des obstacles rencontrés par les partenaires franco-allemands, serviront de socle à l'élaboration de pistes d'action en vue des efforts franco-allemands à venir dans le domaine des NTE.

2 Situation de la R&D énergétique en France et en Allemagne

2.1 Objectifs et défis

A ce jour, les objectifs français et allemands en matière énergétique et environnementale à moyen et à long terme sont remarquablement similaires (cf. Tableau 1). Les deux pays visent un développement important des SER, une réduction significative des gaz à effet de serre et une réduction de la part de l'énergie atomique.

Néanmoins, alors que l'intégration des SER aux systèmes énergétiques français et allemands va bon train, des défis majeurs apparaissent. En effet, du fait de leur nature intermittente, les SER ne peuvent venir se substituer aux sources d'énergie traditionnelles (fossiles et nucléaires) de manière simple. L'un des défis majeurs d'un système énergétique durable sera le stockage des surplus de production d'énergie renouvelable sur des laps de temps étendus, afin de pouvoir combler les lacunes de production. Cette problématique implique le développement de solutions de stockage efficaces (batteries, stockage chimique, etc.)

En outre, la production électrique n'est responsable que d'une certaine partie des émissions de CO₂ dans chaque pays. Ce chiffre varie fortement selon le mix énergétique national. En Allemagne la part d'émissions liée à la production électrique s'élevait à 40% en 2014, alors qu'elle n'était que de 9% en France à la même époque, grâce à la part importante d'énergie nucléaire (cf. Figure 1). Malgré ces différences notables, d'autres facteurs conduisent à une convergence des intérêts franco-allemands en matière de défis technologiques. En effet une part importante des émissions de gaz à effet de serre est liée en France comme en Allemagne au secteur des transports et de l'industrie manufacturière. La dé-

Tableau 1 : Objectifs énergétiques et environnementaux de l'Allemagne et de la France

	Objectif	Allemagne	France
Réduction des gaz à effet de serre (par rapport à 1990)	2020 ¹	-40 %	-20 %
	2030 ²	-55 %	-40 %
	2050 ³	-80 à -95 %	-75 %
Part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale	2020 ⁴	≥ 18 %	23 %
	2030 ⁵	30 %	32 %
	2050 ⁶	≥ 60 %	-
Part des énergies renouvelables dans la consommation brute d'électricité	2025 ⁷	45 % ≥ x ≥ 40 %	-
	2035 ⁸	55 % ≥ x ≥ 60 %	-
	2050 ⁹	≥ 80 %	-
Part de l'énergie atomique (par rapport à 2010)		2022 ¹⁰ : -22 %	2025 ¹¹ : -28 %

1 Energiekonzept Für Eine Umweltschonende, Zuverlässige Und Bezahlbare Energieversorgung (BMW, 28 September 2010) ; Loi de Transition Énergétique Pour La Croissance Verte, 2015.

2 Energiekonzept Für Eine Umweltschonende, Zuverlässige Und Bezahlbare Energieversorgung ; Loi de Transition Énergétique Pour La Croissance Verte.

3 Energiekonzept Für Eine Umweltschonende, Zuverlässige Und Bezahlbare Energieversorgung ; Loi de Transition Énergétique Pour La Croissance Verte.

4 EEG 2017, 2017 ; Loi de Transition Énergétique Pour La Croissance Verte.

5 Energiekonzept Für Eine Umweltschonende, Zuverlässige Und Bezahlbare Energieversorgung ; Loi de Transition Énergétique Pour La Croissance Verte.

6 Energiekonzept Für Eine Umweltschonende, Zuverlässige Und Bezahlbare Energieversorgung ; Loi de Transition Énergétique Pour La Croissance Verte.

7 EEG 2017.

8 EEG 2017.

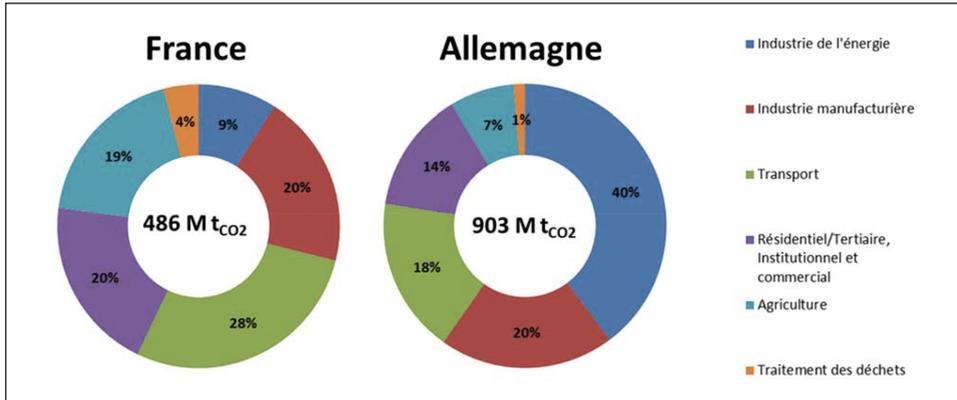
9 EEG 2017.

10 Energiekonzept Für Eine Umweltschonende, Zuverlässige Und Bezahlbare Energieversorgung.

11 Loi de Transition Énergétique Pour La Croissance Verte.

fossilisation de ces secteurs représente un défi majeur, qui se fait plus pressant. En effet, le potentiel de réduction des émissions de CO₂ est limité dans les deux pays. En Allemagne, l'absence de système de stockage efficace des SER empêche la fermeture des centrales à charbon. Cette situation a déjà mené le ministère fédéral de l'Environnement (BMUB) à annoncer que les objectifs de réduction des émissions pour 2020 seront manqués.⁷ En France, on est déjà face à une industrie

⁷ < Klimaziel Wird Offiziell Verfehlt >, <https://www.solarify.eu/2018/06/23/180-klimaziel-wird-offiziell-verfehlt/> [accessed 8 October 2018].



U. B. A. Redaktionsassistentz 1, « Emissionsquellen », *Umweltbundesamt*, 2013, <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen> [accessed 8 October 2018] ; « Émissions Des Gaz à Effet de Serre Par Secteur [Indicateurs & Indices, Environnement, Partie 1 – Milieux Naturels et Biodiversité : État, Pressions, Climat-Effet de Serre] : Observation et Statistiques », <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/f/2082/0/emissions-gaz-effet-serre-secteur-1.html> [accessed 8 October 2018].

Figure 1 : Emissions sectorielles annuelles en France et en Allemagne en 2014, total des émissions par pays au centre en mns de tonnes équivalent CO₂ (en gras)

de l'énergie fortement défossilisée, ce qui limite fortement le potentiel de réduction des émissions dans ce domaine. Les deux pays voient donc la défossilisation des autres secteurs de consommation énergétique comme une priorité stratégique. Cette volonté se traduit par exemple par l'organisation d'une conférence franco-allemande par la BMBF et le MESRI le 22 octobre 2018 avec pour thème l'hydrogène.⁸ En effet la production d'hydrogène renouvelable est vue par le monde scientifique comme un pilier crucial pour la réduction des émissions de CO₂ des secteurs du transport et de l'industrie.⁹ On assiste donc en France et en Allemagne à une convergence croissante des réflexions autour des orientations stratégiques de la R&D énergétique.

⁸ « Conférence Franco-Allemande sur l'Hydrogène – Horizon 2020 », <http://www.horizon2020.gouv.fr/cid133032/conference-franco-allemande-sur-l-hydrogene.html> [accessed 25 September 2018].

⁹ Schlögl and Renn ; Robert Schlögl, « The Role of Chemistry in the Energy Challenge », *ChemSusChem*, 3.2 (2010), 209–22, <https://doi.org/10.1002/cssc.200900183>.

2.2 Etat de la R&D énergétique en France et en Allemagne

2.2.1 France

Evolution historique (cf. Annexe V.1.a) pour une description détaillée : Jusque dans les années 80, les orientations stratégiques de la R&D énergétique française se trouvaient essentiellement déterminées de manière centralisée aux plus hauts niveaux de l'Etat. Le système d'innovation français reposait alors sur les *grands programmes*, élaborés par un cercle restreint d'experts de l'administration. Cette organisation relevait d'une logique de missions (système *mission-oriented*)¹⁰, selon laquelle la R&D énergétique française devait être alignée sur les objectifs stratégiques de l'Etat français. Ainsi, les ambitions gaullistes en matière de souveraineté énergétique et militaire ont longtemps fait du développement d'une filière nucléaire nationale le pivot central de la R&D énergétique français.

Les années 80 marquent un tournant majeur pour la R&D (énergétique) française : L'internationalisation des efforts de recherche à travers le premier programme européen de R&D en 1984 marque le début d'une mise en retrait de l'état. En effet, le succès limité des technologies nucléaires nationales à l'export ont fait apparaître les limitations des *grands programmes* nationaux. Traduisant cette mise en retrait de l'état, entre 1990 et 2000, la part de contrats publics dans la R&D privée passe de 21 % à 11%.¹¹ L'état s'oriente alors progressivement vers un système axé sur la mise en place des conditions et des structures nécessaires à une innovation dynamique, concurrentielle et réactive face aux nouveaux défis. On parle alors de système orienté sur la diffusion de savoir (*diffusion-oriented*).¹²

¹⁰ Jean-Alain Héraud and Jean Lachmann, « L'évolution du système de recherche et d'innovation : ce que révèle la problématique du financement dans le cas français, The Evolution of the French Research and Innovation System : What does the Issue of Financing Reveal ? », *Innovations*, 2015, 9–32, <https://doi.org/10.3917/inno.046.0009>.

¹¹ Héraud and Lachmann.

¹² Ibid.

Acteurs : L'innovation énergétique française s'est d'abord appuyé d'une part sur les grandes entreprises françaises, les *champions nationaux*. D'autre part, des organismes de recherche sous la tutelle directe des ministères sont mis en place à la fin de la Seconde Guerre Mondiale afin de développer les technologies d'importance stratégique en collaboration avec les *champions nationaux*. Le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) en est l'exemple le plus proéminent dans le domaine énergétique. Créé en 1945 par De Gaulle, le CEA sera chargé du développement des capacités françaises de R&D appliquée en vue de l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins civiles, mais aussi militaires. Placé sous la tutelle directe du gouvernement, l'organisation du CEA traduit la forte influence des orientations stratégiques gouvernementales sur la R&D du plus grand organisme de R&D appliquée français. Pendant ce temps, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) se recentre sur des activités de recherche plus fondamentales dans le domaine de l'énergie.

Suite au changement de gouvernance de la R&D publique dans les années 80 et sous l'impulsion des chocs pétroliers et des problématiques environnementales, les SER vont progressivement prendre de l'importance au sein de la R&D énergétique française. Au cours des années 90 on voit apparaître les premiers projets ambitieux en matière de NTE. Le CEA reste l'acteur majeur de la R&D énergétique appliquée française, mais diversifie ses activités (détails en Annexe V.1.a)). Cette nouvelle orientation sera signifiée par la création du *Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux* (CEA-LITEN) à Grenoble en 2005 et par le changement de nom du CEA en *Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives*. Le CEA amorce ainsi un rééquilibrage entre l'effort consacré à l'énergie nucléaire et l'attention portée aux SER et aux NTE. Un autre acteur important de la R&D énergétique appliquée, l'IFP, devient en 2010 l'IFP *Énergies nouvelles* (IFPEN), traduisant un rééquilibrage similaire à celui du CEA en faveur des nouvelles technologies de l'énergie. Le volume combiné des subventions publiques et des recettes privées des acteurs français de la R&D énergétique (cf. Tableau 2), indique que le CEA conserve à ce jour une position dominante sur la R&D énergétique appliquée en France.

Organisation actuelle : La transition amorcée dans les années 80 aboutit dans les années 2000 à une nouvelle doctrine : Afin de favoriser la compétitivité internationale de l'innovation française, l'état devra surtout assurer un rôle de prospec-

tion, de coordination et d'incitation. La nouvelle gouvernance publique de la R&D se traduira notamment par la création de l'agence nationale de la recherche (ANR) en 2005.¹³ Bien que sous la tutelle du MESRI, l'ANR base son action sur les recommandations d'un comité de pilotage scientifique incluant des scientifiques indépendants. Cette nouvelle gouvernance du soutien public traduit une ambition de transparence et d'ouverture.¹⁴ L'ANR a depuis pris en charge le soutien public aux projets de R&D fondamentale et de développement technologique (échelle de maturité technologique TRL 1–5, cf. Figure 2). Les vecteurs de ce soutien sont des appels à projet. A travers cette procédure concurrentielle, l'état adopte bien une approche plus systémique, moins dirigiste et axée sur la diffusion du savoir.

Tableau 2: Recettes civiles des principaux organismes de R&D impliqués dans la recherche énergétique en France

Organisme	Recettes 2016 (M€)	Subvention annuelle 2016 (M€)	Aides publiques aux projets de R&D (M€)	Contrats privés (M€)
CEA	2 307	1 173	323	472
IFP	272	125	11	38
CNRS	3 326	2 612	590	40

L'état soutient également les partenariats public-privé et les entreprises innovantes dans le cadre du *Programme des investissements d'avenir* (PIA) pour des projets de R&D appliquée. Dans la cadre de la R&D énergétique, l'Ademe est l'opérateur des fonds du PIA dédiés aux projets de démonstration (échelle TRL > 6).¹⁵ Créée en 1991, l'Ademe a gagné graduellement en importance en se voyant chargée du financement des projets de démonstration dans le domaine des éner-

¹³ Héraud and Lachmann ; < Le pacte pour la recherche – ESR : enseignementsup-recherche.gouv.fr >, //m.enseignementsup-recherche.gouv.fr/pid24518-20235/le-pacte-pour-la-recherche.html [accessed 24 July 2018].

¹⁴ < Le Comité de Pilotage Scientifique >, ANR, <http://www.agence-nationale-recherche.fr/missions-et-organisation/gouvernance/le-comite-de-pilotage-scientifique/> [accessed 6 November 2018].

¹⁵ < Recherche et développement pour l'énergie >, *Ministère de la Transition écologique et solidaire*, 2018, /recherche-et-developpement-lenergie [accessed 23 February 2018].

gies renouvelables et de la lutte contre le changement climatique.¹⁶ Les fonds de l'ADEME sont notamment alloués sous forme de subventions ou d'avances remboursables dans le cadre d'appels à projets. A travers l'ADEME, l'Etat français soutient le transfert technologique dans le domaine des NTE.

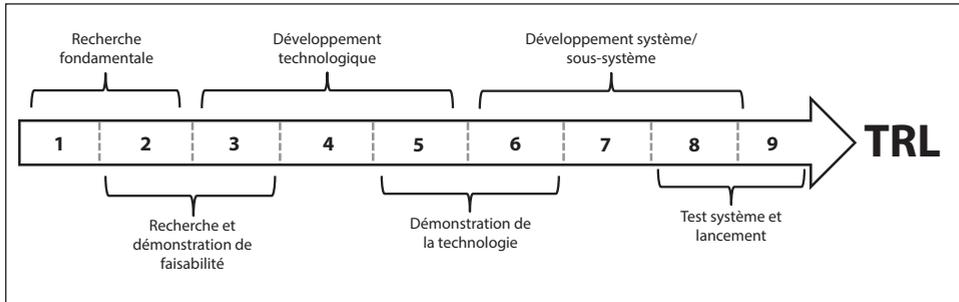


Figure 2 : Echelle de maturité technologique (Technology readiness level, TRL)

Le soutien aux entreprises innovantes est quant à lui assuré par la banque d'investissement publique Bpifrance sous l'égide du Commissariat général à l'investissement (CGI). Dans le cadre du programme PIAVE, Bpifrance finance sous forme de subventions et d'avances remboursables des projets présentant au moins 3 m^{ns} d'euros d'investissements. Ces projets ne doivent pas nécessairement être collaboratifs et visent à dynamiser la R&D privée en France.¹⁷

La gouvernance publique du soutien à la R&D énergétique se base sur la Stratégie nationale de la recherche énergétique (SNRE) élaborée en 2016 au sein du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI). La SNRE accorde une place centrale à l'innovation au service des objectifs de l'Accord de Paris sur le changement climatique. L'état cherche à mettre en place les conditions propices à une R&D efficace, en laissant la définition des sujets à traiter aux acteurs. La SNRE s'intègre ainsi à la nouvelle gouvernance du soutien public à la R&D.

¹⁶ Patrick Février, « L'ADEME : entre maîtrise de l'énergie et développement durable », *Annales historiques de l'électricité*, 2012, 55–59, <https://doi.org/10.3917/ah.010.0055>.

¹⁷ « Le PIAVE En Questions | Bpifrance Servir l'avenir », <https://www.bpifrance.fr/A-la-une/Actualites/Le-PIAVE-en-questions-13173> [accessed 25 October 2018].

Financement : En 2016, l'Etat français a accordé 944 m^{ns} d'euros en subventions directes aux organismes de recherche publics pour des projets de R&D énergétique.¹⁸ Néanmoins, une part importante de ces fonds (407 m^{ns} d'euros) reste dévolue à la R&D nucléaire, alors que le domaine des NTE a été pourvu de 408 m^{ns} d'euros. Cette dernière part est néanmoins en constante augmentation depuis les années 2000 (cf. Figure 3), traduisant l'importance croissante de ce domaine aux yeux des pouvoirs publics. La majeure partie des fonds (85 %) provient du MESRI, le reste provenant du ministère de la Défense.

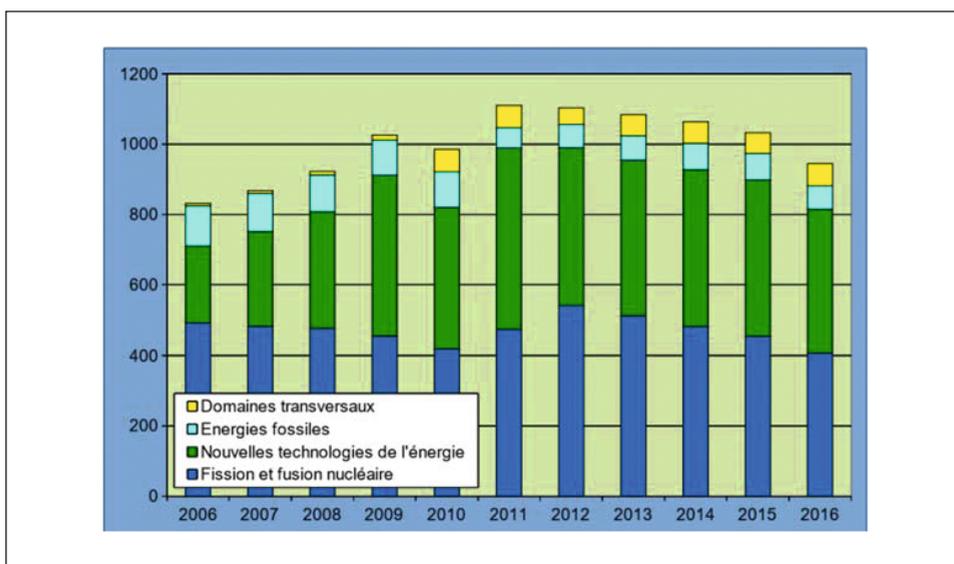


Figure 3 : Evolution des financements publics de la recherche et développement (R&D) sur l'énergie en France de 2006 à 2016 (montants des subventions en m^{ns} d'euros) (Recherche et développement pour l'énergie.)

La majorité des projets financés dans le domaine des NTE en 2016 ont traité de thématiques liées aux SER (170 m^{ns} d'euros) et à l'efficacité énergétique (156 m^{ns} d'euros). Les appels à projet orientés de manière plus systémique, sur les thématiques de couplage sectoriel, de capture et de conversion du CO₂ sont encore relativement rares, avec environ 60 m^{ns} d'euros accordés aux sujets qualifiés de

¹⁸ < Recherche et développement pour l'énergie >.

transversaux. Un exemple de projet d'approche systémique est le projet Jupiter 1000 où la capture de CO₂ industriel et sa valorisation sous forme de gaz naturel est couplée au stockage d'énergie renouvelable sous forme d'hydrogène (*Power-to-Gas*). Ce projet de démonstration de l'intégration de différentes innovations du domaine des NTE dans un même système représente une avancée ambitieuse de l'innovation française. Reconnaissant la nécessité d'investir dans ce type de projets, l'Etat à travers l'ADEME a accordé 9 m^{ns} d'euros de financements directs au projet, couvrant ainsi 30% du coût total.¹⁹ Ce type de projets systémiques reste néanmoins en France un domaine à fort potentiel de développement.

Au-delà du soutien direct à la R&D, l'état français se distingue par une série de mesures fiscales incitatives. L'instrument le plus important est ici le crédit impôt recherche (CIR) qui permet aux entreprises françaises de déduire jusqu'à 30% des frais engagés en R&D de leur revenu.²⁰

2.2.2 Allemagne

Evolution historique (cf. Annexe V.1.b) pour une description détaillée : Faisant écho aux expériences historiques, l'indépendance de la recherche allemande est garantie de manière explicite dans l'article 5 de la Loi fondamentale. Lors de la reconstruction de l'Allemagne fédérale d'après-guerre, un système de R&D fortement décentralisé, multiple et indépendant se met en place. Ainsi, le soutien public à la R&D restera jusqu'au milieu des années 50 une compétence exclusive des états fédérés. Néanmoins, au cours des années 50 la réflexion autour d'un programme nucléaire civil ouest-allemand gagne du terrain. Cette dynamique traduit alors l'affirmation progressive d'ambitions nationales en termes de souveraineté énergétique et technologique.²¹ On assistera alors au lancement d'un certain nombre de grands programmes fédéraux dans les domaines du nucléaire, de l'aérospatiale et de la microélectronique. Néanmoins, les crises

¹⁹ « Power to Gas : la construction de Jupiter 1000 officiellement lancée », *Connaissance des Énergies*, 2017, <https://www.connaissancedesenergies.org/power-gas-la-construction-de-jupiter-1000-officiellement-lancee-171220> [accessed 26 October 2018].

²⁰ « Crédit d'impôt recherche (CIR) », <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23533> [accessed 26 October 2018].

²¹ Knut Kübler, « 100 Jahre Energieforschungspolitik in Deutschland : 1950 Bis 2050 », *Energiawirtschaftliche Tagesfragen*, 3.67 (2017), 32–38.

pétrolières vont faire apparaître le manque d'efficacité économique des grands programmes et dès les années 70 l'état allemand va abandonner l'approche interventionniste. L'Allemagne adoptera rapidement un système axé sur la création et la diffusion de savoir (*diffusion-oriented*), qui visera à garantir la compétitivité internationale de l'innovation allemande. Cette transition sera d'autant plus rapide que l'indépendance des grands organismes de R&D allemands n'avait pas été remise en cause.

Dans le domaine énergétique, les objectifs stratégiques du gouvernement fédéral seront explicités en 1975 par le gouvernement fédéral dans son *1^e programme cadre de la recherche énergétique et des technologies de l'énergie (Rahmenprogramm Energieforschung und Energietechnologien)*. Ces programmes se feront dès lors le reflet des orientations stratégiques allemandes en matière de R&D énergétique.

A partir des années 70 on assiste en Allemagne à la montée en puissance du débat de société sur le modèle énergétique, qui se cristallise autour de la sortie du nucléaire et des aspects environnementaux. L'intérêt populaire se manifeste par une montée en puissance du mouvement antinucléaire et écologiste, qui aboutit à l'entrée du parti *Die Grünen* au parlement en 1983. La pression en faveur des SER augmente ainsi tout au long des années 80 et l'accident de Tchernobyl en 1986 achèvera de faire du développement des SER une priorité politique. Conséquemment on assiste au cours des années 80 à un déclin des financements accordés à la R&D nucléaire et aux premiers fonds importants dédiés à la R&D sur les SER (cf. Figure 4).

L'influence des mouvements écologistes conduira à partir des années 90, à la promotion des SER dans le paysage énergétique allemand à travers une série de lois définissant notamment des obligations de captage et de rachat de l'électricité renouvelable, ainsi que des revenus plancher. On mise alors sur un soutien actif au marché des SER afin d'assurer un développement rapide sans passer par une phase de maturation technologique plus lente. L'Allemagne se fixe des objectifs ambitieux dans le cadre de sa transition énergétique (*Energiewende*). L'énergie renouvelable passe ainsi de 29 TWh en 1999 à 161 TWh en 2014.²² Devant cette

²² Volkmar Lauber and Staffan Jacobsson, « The Politics and Economics of Constructing, Contesting and Restricting Socio-Political Space for Renewables – The German Renewable Energy Act », *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 18 (2016), 147–63, <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.06.005>.

intégration réussie, vers la fin des années 2000 les priorités se déplacent vers l'intégration progressive des SER à l'économie de marché. La R&D énergétique passe alors sous la responsabilité du ministère fédéral de l'Economie, qui met l'accent sur la rentabilité économique et le développement compétitif des NTE. Avec le 6^e programme de R&D énergétique, le gouvernement fédéral reconnaît l'intégration avancée des SER dans le mix énergétique et les nouvelles problématiques qui en découlent.²³ De nouveaux accents sont ainsi placés sur l'intégration systémique des SER à travers les technologies de stockage et de gestion intelligente. Du statut de technologie de niche, les SER ont été pleinement intégrées à la gouvernance de la R&D énergétique.

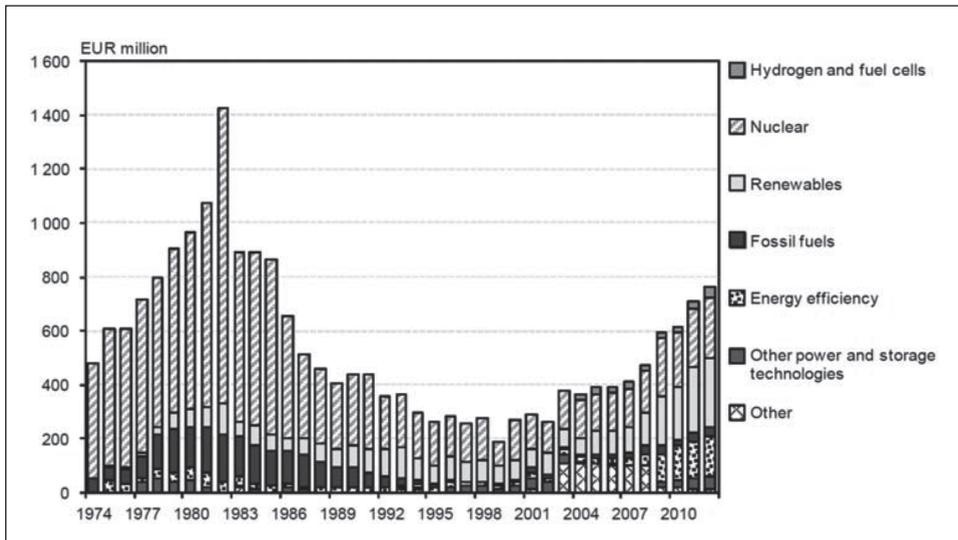


Figure 4 : Soutien fédéral direct à la R&D énergétique réparti par domaines technologiques de 1974 à 2012 en M€ (Energy Policies of IEA Countries – Germany, IEA Review (IEA, 2013), https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Germany2013_free.pdf.)

Acteurs : Dès son origine le modèle universitaire allemand se base sur l'approche de Humboldt qui prône une proximité de la formation et de la recherche. Le paysage universitaire allemand se caractérise ainsi par une attention particulière

²³ Kübler.

accordée aux laboratoires universitaires. Ceux-ci sont fortement impliqués dans des projets de R&D appliquée avec des partenaires industriels (cf. Figure 5). En 2013, les fonds privés couvraient ainsi 14 % du budget de R&D des universités. Ce chiffre représente un ordre de grandeur supérieur au cas français et plus du double de la moyenne OCDE qui s'élève à 5,9%.²⁴

Le paysage de la R&D énergétique allemand est en outre fortement marqué par les grands organismes de recherche (*research and technology organisations, RTO*). Ceux-ci sont financés sur la base de subventions publiques annuelles mais conservent une très large indépendance (cf. Tableau 3).

Tableau 3: Budget des principaux organismes de R&D impliqués dans la recherche énergétique en Allemagne

Organisme	Recettes 2016 (M€)	Subvention annuelle 2016 (M€) (part fédérale-part des Länder)	Aides publiques aux projets de R&D (M€)	Contrats privés (M€)
MPG	2 332	1 728 (50–50)	234	267
FhG	2 102	672 (90–10)	520	668
HGF	4 450	3 026 (10–90)	1 268	168

- **Société Max Planck** (Max-Planck-Gesellschaft, MPG)

Bien que la plupart des instituts Max Planck se consacrent à la recherche fondamentale, certains participent à des projets de R&D plus appliquée, à condition qu'il s'agisse de projets pionniers. Le principe de Harnack garantit aux directeurs une forte indépendance à travers un cadre de financement sécurisé sur l'ensemble de leur carrière. Ces instituts constituent des acteurs importants de la R&D énergétique allemande, comme le témoigne leur implication et leur rôle d'initiateur dans certains projets récents d'approche systémique lancés par le BMBF.²⁵

²⁴ Bundesbericht Forschung Und Innovation 2016 (BMW, 2017).

²⁵ « Der Ansatz « Max Planck » », https://www.mpg.de/101251/MPG_Einfuehrung [accessed 26 October 2018].

- **Société Fraunhofer** (Fraunhofer Gesellschaft, FhG)

La FhG est spécialisée dans la recherche en sciences appliquées. Le modèle de financement des instituts, corrélé au volume des coopérations industrielles, constitue une incitation puissante pour les groupes de recherche de la FhG à développer leurs partenariats avec l'industrie.²⁶ En outre, le gouvernement fédéral s'engage à doubler tout investissement industriel collaboratif. De ce fait la R&D énergétique de la FhG se concentre sur des thématiques proches des préoccupations des entreprises.

- **Association Helmholtz des centres de recherche allemands** (Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, HGF)

La HGF occupe une place particulière dans le paysage de la R&D allemande. Elle s'attache en particulier aux questions qui occupent une position clé dans les problématiques technologiques et économiques liées à la transition énergétique. La HGF dédie ses efforts aux projets de R&D hautement complexes qui nécessitent des collaborations interdisciplinaires poussées, des infrastructures importantes ou encore l'utilisation de grands instruments (type synchrotron).

Organisation actuelle : Le soutien fédéral à la R&D énergétique se place dans le cadre du 6^e programme cadre de recherche énergétique (6. *Energieforschungsprogramm*). Les responsabilités sont essentiellement réparties entre le ministère fédéral de l'Economie et de l'Energie (BMW i) et le ministère fédéral de l'Education et la Recherche (BMBF). Officiellement, le BMW i a la tutelle de la R&D énergétique. Il s'occupe ainsi de la coordination, de l'orientation et du développement stratégique des programmes de recherche énergétique (*Energieforschungsprogramm*). Le BMW i lance les appels d'offre et finance les projets de R&D orientés sur l'application pratique. Le BMBF a compétence sur les projets de R&D énergétique plus proches de la recherche fondamentale.

La gouvernance fédérale du soutien à la R&D énergétique doit être lue à travers le prisme de la forte indépendance des ministères. Alors que sur le papier, le partage des compétences est clair entre le BMW i et le BMBF, en pratique la ri-

²⁶ 60 Jahre Fraunhofer-Gesellschaft (FhG, 2009), <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/publikationen/broschueren/60JahreFraunhofer-Gesellschaft.pdf> [accessed 31 August 2017].

valité politique entre les deux ministères conduit à une compétition forte. C'est notamment le cas autour des programmes phare.

Financement : L'état fédéral et les états fédérés se répartissent les domaines et projets à soutenir. Ainsi, en 2016 le soutien à la R&D énergétique se chiffrait à 876 M€ de la part de l'état fédéral et 249 m^{ns} d'euros de la part des états fédérés.²⁷ Afin de coordonner leurs efforts, l'état fédéral et les états fédérés s'échangent régulièrement dans le cadre d'instances telles que la Conférence scientifique commune (Gemeinsame Wissenschaftskonferenz, GWK, cf. Figure 5). Les financements directs sous forme d'appels à projets sont l'outil de soutien public le plus commun. Aucun mécanisme d'incitation fiscale aux projets de R&D n'est prévu à ce jour.

La Communauté allemande de Recherche (DFG) vient compléter l'action publique. La DFG est une association indépendante ayant pour mission de promouvoir l'excellence dans la recherche scientifique en Allemagne. Financée à hauteur de 58 % par l'état fédéral et à hauteur de 42 % par les états fédérés, la DFG a bénéficié de plus de 3,1 m^{rds} d'euros de fonds publiques en 2016.²⁸ La DFG cible surtout les projets de R&D reconnus d'excellence, plus particulièrement ceux issus du milieu académique. Outre le financement de projets institutionnels, la DFG propose un nombre important de bourses et de financements s'adressant à des chercheurs individuels post-thèse afin de leur permettre de mener à bien un projet particulier, voire de lancer leur propre groupe de recherche. En ce sens la DFG remplit un rôle important dans le renouvellement dynamique du personnel de recherche en soutenant de manière ciblée les projets d'excellence. On constate que par rapport au modèle français, une plus grande attention est apportée à la recherche universitaire.

D'un point de vue de l'orientation du soutien public, on assiste à une restructuration de l'aide publique à la R&D énergétique.²⁹ Alors que les SER arrivent à un certain niveau de maturité, le niveau de l'aide fédérale dans ce domaine plafonne. Ce sont à présent les thématiques liées à l'intégration des SER au réseau et à la réduction des émissions des secteurs du transport et de l'industrie manu-

²⁷ *Bundesbericht Energieforschung 2018* (BMWi).

²⁸ *Bundesbericht Energieforschung 2018*.

²⁹ *Ibid.*

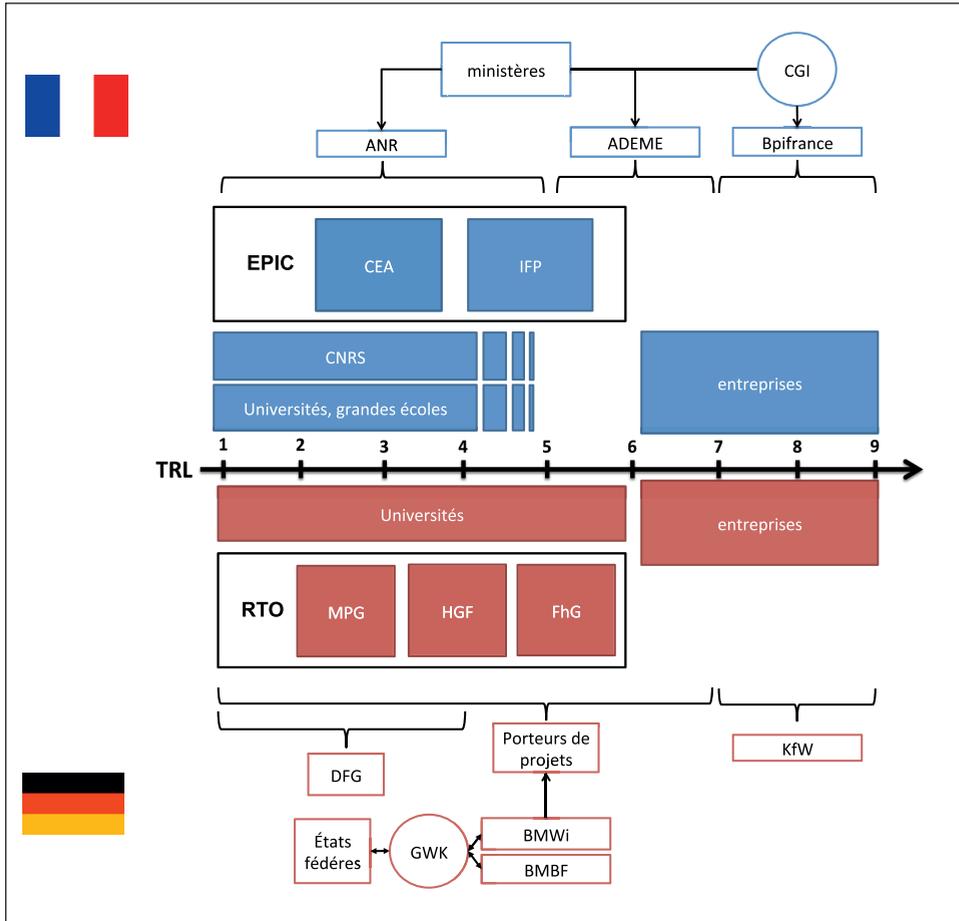


Figure 5: Comparaison des structures de la R&D énergétique en France et en Allemagne en fonction de l'échelle TRL (acteurs en cadres pleins, organismes de financement et d'orientation stratégique en cadre vides, organismes de liaison en cercles)

facturière, qui attirent l'attention des pouvoirs publics. Le BMBF s'est ainsi mis à financer des projets d'approche systémique tels que *Kopernikus* ou *Carbon2-Chem*.³⁰ Ces projets se distinguent d'abord par le volume de fonds importants alloués par le BMBF sur une période excédant les 5 ans. De plus, le ministère laisse aux partenaires la liberté de fixer eux-mêmes le couloir d'objectifs du projet. On cherche ainsi à mettre en concurrence différentes solutions au sein d'un même projet et de favoriser l'émergence de l'option la plus compétitive. Cette approche semble témoigner d'un changement profond de la gouvernance fédérale dans le soutien à la R&D énergétique. L'approche du BMBF témoigne d'une volonté de faire de la *Energiewende* un système *bien pensé*, qui doit garantir la stabilité de l'économie allemande et s'assurer du soutien de la population. L'importance de l'engagement public dans cette nouvelle stratégie apparaît dans les volumes des financements accordés aux projets d'approche systémique. Alors que côté français *Jupiter 1000* (cf. I.2.a) a reçu 9 m^{ns} d'euros de l'Ademe, *Carbon2Chem* représente 60 m^{ns} de fonds publics.

Sur un plan international, l'Allemagne cherche ouvertement à faire la promotion de son modèle d'*Energiewende made in Germany*. Il s'agit d'abord de convaincre du bien-fondé d'une transition courageuse dans une perspective de protection de l'environnement. L'Allemagne cherche par la même occasion à s'imposer dans la compétition autour du modèle énergétique de demain en assurant à son industrie une place de *leader* mondial. L'implication importante et les investissements conséquents de la part des partenaires industriels, témoignent d'un engagement des entreprises allemandes pour cette nouvelle approche.

2.2.3 Le rôle de l'Europe

Le budget du 7^e programme-cadre pour la recherche et le développement technologique (PCRD) *Horizon 2020* de la Commission européenne s'élève à 74,3 mrds d'euros sur la période 2014–2020. Une part importante de cette somme (5,67 mrds d'euros) est consacrée au financement de projets de R&D répondant au défi *En-*

³⁰ < Carbon2Chem – von CCS Zu CCU >, <https://www.solarify.eu/2016/07/01/671-carbon2-chem-von-ccs-zu-ccu/> [accessed 12 November 2018].

ergies sûres, propres et efficaces.³¹ A travers cet instrument, la Commission cherche à promouvoir l'innovation nécessaire au développement d'un système énergétique européen harmonisé et respectueux de l'environnement. Les technologies ainsi développées devront assurer un approvisionnement énergétique sûr et compétitif, tout en affirmant la position clé de l'Europe dans la compétition internationale autour des NTE.

Une particularité des projets de R&D financés dans le cadre d'*Horizon 2020* est la participation obligatoire d'au moins trois partenaires issus de trois différents pays membres de l'UE.³² Cette règle doit assurer la mutualisation des efforts de R&D des pays européens et permettre l'inclusion de partenaires issus de pays européens aux systèmes de R&D en cours de développement. La Commission cherche ainsi à créer un effet d'entraînement des pays à l'innovation moins dynamique.

Les fonds importants mis en commun dans le cadre du PCRD montrent l'importance que les pays européens accordent à la mutualisation des efforts de R&D. Conséquemment, le PCRD est intégré aux orientations stratégiques des membres de l'UE afin d'éviter les recoupements et de valoriser au mieux les synergies créées dans le cadre des projets. Avec 7 298 participants recevant 4,047 m^{rds} d'euros de financements *Horizon 2020*, l'Allemagne se place en tête des pays européens entre 2014 et juillet 2017. C'est loin devant la France, qui se classe en troisième position avec 5 182 participants bénéficiant de 2,515 m^{rds} d'euros.³³ En particulier dans le domaine de la recherche énergétique, l'Allemagne est largement en tête des subventions européennes issues d'*Horizon 2020* avec 14,4% des fonds versés en 2016, contre 9,7% pour la France. Les organismes de R&D allemands (MPG, FhG, HFG, etc.) sont particulièrement efficaces lors des appels à projets. Contrairement à leurs homologues français, les organismes allemands entretiennent des bureaux à Bruxelles. Ceux-ci sont chargés d'assurer une étroite coordination entre la Commission, les orientations stratégiques des instituts et les chercheurs répondant aux appels. Cette stratégie semble prouver

³¹ < Recherche et développement pour l'énergie >.

³² < International Cooperation – H2020 Online Manual >, http://ec.europa.eu/research/participants/docs/h2020-funding-guide/cross-cutting-issues/international-cooperation_en.htm [accessed 31 October 2018].

³³ *Bundesbericht Energieforschung 2018*.

son efficacité d'un point de vue des fonds récoltés et pourrait traduire une meilleure intégration de la dimension européenne dans le R&D énergétique de la part des organismes allemands.

Il semblerait néanmoins que la France et l'Allemagne partagent le constat d'une lacune entre les programmes nationaux et européens. La réflexion franco-allemande développée à partir des années 2000 autour de programmes bilatéraux, traduit la volonté de trouver des cadres de financements adaptés à des consortiums de partenaires plus restreints. Ces programmes bilatéraux doivent s'intégrer de manière complémentaire entre les programmes nationaux et le PCRD, notamment sur des thématiques précises où un effort conjoint de deux partenaires pourrait mener rapidement à une innovation majeure, dite *de rupture*.

2.2.4 Innovation dans le secteur privé

L'échelle de maturité technologique (*technology readiness level*, TRL, cf. Figure 2) cherche à décrire sur une échelle de 1 à 9 l'avancement d'une innovation depuis la phase de recherche fondamentale à l'échelle du laboratoire (TRL 1–2) jusqu'au produit commercialisable (TRL 8–9). La phase de développement pré-industriel est particulièrement critique (TRL > 6). Nombre de projets s'enlisent à ce stade, faute de trouver des partenaires industriels prêts à investir des sommes importantes.³⁴ En effet, au-delà de la phase de démonstration, le développement d'un produit mature et commercialisable requiert des fonds importants et le savoir-faire des entreprises. Ce constat fait apparaître l'importance de la collaboration entre entreprises et acteurs publics de la R&D. L'efficacité de la gouvernance publique du soutien à la R&D se jugera ultimement à l'aune du succès des transferts technologiques effectués vers l'industrie.

Les données collectées par l'OCDE en 2014 illustrent les différences franco-allemandes dans le rôle du secteur privé en R&D. En France, l'effort financier du secteur privé (BERD) représentait 55,6 % de la dépense nationale brute en R&D (GERD, cf. Tableau 4) en 2014. Sur la même année le secteur privé couvrait 65,8 % de la GERD allemande. En termes de PIB, le secteur privé investissait la même

³⁴ Guillaume Klossa and Serge Guillon, *Le Nouvel Impératif Industriel* (Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, 2012).

année l'équivalent de 1,2% du PIB national en R&D en France, contre 1,9% du PIB national en Allemagne. Cette comparaison traduit un effort financier significativement plus important en R&D de la part du secteur privé en Allemagne, que ce soit en termes de chiffres absolus ou relatifs. A l'inverse, l'état français couvre une part significativement plus importante de la dépense nationale en R&D par rapport à l'Allemagne. On peut y voir le résultat des évolutions historiques distinctes de la gouvernance publique en matière de R&D, avec une implication publique forte en France, héritée de l'époque des *grands programmes*. En outre, les secteurs privés sont structurés de manière sensiblement différente entre la France et l'Allemagne. Alors que l'Allemagne conserve un fort secteur manufacturier, la France développe un secteur tertiaire important. Ces différences se reflètent dans les dépenses sectorielles de R&D.³⁵

Tableau 4: Dépense de R&D en France et en Allemagne en 2014 selon les données de l'OCDE (< Gross Domestic Expenditure on R-D by Sector of Performance and Source of Funds >, https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=GERD_FUNDS [accessed 29 October 2018]) (GERD : dépense nationale brute en R&D ; GOVERD : dépense gouvernementale brute en R&D, BERD : dépense de R&D des entreprises)

	France	Allemagne
PIB (m ^{rds} d'euros)	2852	3891
GERD (m ^{rds} d'euros)	59,6	110,2
GOVERD (m ^{rds} d'euros)	20,6	31,4
GOVERD (en % du GERD)	34,6	28,7
BERD (m ^{rds} d'euros)	33,2	72,5
BERD (en % du GERD)	55,6	65,8
BERD (en % du PIB national)	1,2	1,9

³⁵ Andrea Zenker and others, < Research Landscapes and Innovation Policies in France and in Germany : An Overview >, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 5–29.

Une analyse plus fine fait également apparaître le rôle important des entreprises allemandes dans la dynamisation de la R&D des universités et des organismes de recherche. Ainsi, l'analyse de l'effort financier de R&D du secteur privé allemand en 2014 révèle que 16 m^{rds} d'euros sont investis dans des commandes de R&D externes. Huit pourcents de ces commandes externes vont aux RTO et universités.³⁶ Le secteur privé couvre ainsi 14 % du budget de R&D des universités allemandes,³⁷ soit un ordre de grandeur de plus qu'en France.³⁸ Ces différences sont moins marquées dans le cas des RTO, mais traduisent bien une relation plus étroite des entreprises allemandes avec la R&D publique.

En Allemagne, les nombreux projets de R&D reposant sur des partenariats public-privé entretiennent la proximité de la R&D publique avec les problématiques et défis du secteur privé. La culture d'échange ainsi établie constitue la base d'une relation mutuellement bénéfique entre entreprises, RTO et universités. Les nombreux outils de soutien public dédiés aux PME en Allemagne, en particulier les outils EXIST et INVEST de soutien aux start-ups issues des RTO et universités, jouent un rôle important dans la consolidation des liens public-privé.³⁹ La dynamique ainsi créée constitue un élément d'explication du fort potentiel innovant allemand reflété dans le European Innovation Scoreboard.⁴⁰ Il en résulte également une séparation moins stricte en Allemagne des sujets de recherche fondamentale et appliquée, du fait de l'implication forte des entreprises à des stades TRL variés.

Des consortiums franco-allemands devront tenir compte de ces différences. Ainsi, les entreprises françaises sont par exemple peu habituées à travailler avec des laboratoires universitaires. Néanmoins, les projets franco-allemands bénéficieront des fortes complémentarités des secteurs privés français et allemand dans le domaine énergétique. L'Allemagne se caractérise ainsi par une industrie chimique dynamique alors que la France possède de nombreuses entreprises historiquement issues du secteur nucléaire et qui proposent une expertise unique

³⁶ *Bundesbericht Forschung Und Innovation 2016* (BMW, 2016), p. 78.

³⁷ *Bundesbericht Forschung Und Innovation 2016*.

³⁸ Zenker and others.

³⁹ *Bundesbericht Forschung Und Innovation 2016*.

⁴⁰ < DocsRoom – European Commission >, <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/17822> [accessed 29 October 2018].

dans le domaine des applications haute température. Ces complémentarités font la force des partenariats franco-allemands.⁴¹

⁴¹ « Conférence Franco-Allemande sur l'Hydrogène – Horizon 2020 ».

3 La coopération franco-allemande en matière de R&D énergétique

3.1 Les formats de la coopération franco-allemande en matière de R&D

Au gré de son histoire (cf. V.2. Annexe B), la coopération franco-allemande en matière de recherche a pris des formes variées. Elle a d'abord démarré dans le domaine de la recherche fondamentale avec la création conjointe de grands outils de recherche, comme l'accélérateur à particules du CERN. La source de neutrons de l'ILL créée en 1967 est alors la première installation de recherche civile, qui s'appuie uniquement sur la mise en commun de ressources et de compétences françaises et allemandes.⁴² L'ILL constitue alors une structure administrative innovante. En effet, l'ILL sera créé sous forme de société civile de droit français, reposant sur une convention et des statuts co-signés par les états français et allemands.⁴³

La France et l'Allemagne sont également parvenues à créer une structure commune permanente dans un domaine plus appliqué. L'Institut franco-allemand de Saint-Louis, officiellement créé en 1958 sur la base d'un traité franco-allemand, est subventionné à parts égales par les ministères français et allemands de la Défense. Ses activités de recherche se concentrent dans le domaine des innovations technologiques au profit des forces de défense et de sécurité.⁴⁴ Avec l'ISL, la France et l'Allemagne ont démontré leur capacité à former un parte-

⁴² Bernard Jacrot, « Conclusion », in *Des neutrons pour la science* (EDP Sciences, 2006), pp. 131–38.

⁴³ Bernard Jacrot, « Négociations », in *Des neutrons pour la science* (EDP Sciences, 2006), pp. 47–60.

⁴⁴ « ISL – A Propos », <http://www.isl.eu/a-propos> [accessed 5 October 2018].

nariat équitable dans un domaine d'intérêt stratégique. En effet, le traité franco-allemand régissant les activités de l'ISL règle également le partage des propriétés intellectuelles des innovations produites dans le domaine sensible de la Défense.⁴⁵ Le traité garantit ainsi un accès illimité et gratuit des institutions publiques françaises et allemandes de l'armement aux brevets déposés par l'ISL. Cet accord prouve la volonté du couple franco-allemand à faire de la coopération scientifique bilatérale un modèle mutuellement bénéfique.

La mutualisation des capacités de recherche peut également passer par la création d'unités de recherche conjointes au sein d'un institut français ou allemand, reposant sur des accords cadre entre deux organisations. Ainsi, le Centre de recherche sur le Cancer (*Deutsches Krebsforschungszentrum*, DFKZ) et l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM) ont décidé de pérenniser des décennies de collaboration en créant des unités de recherche financées conjointement et abritées par le DFKZ à Heidelberg.⁴⁶ Ces équipes conjointes se prêtent particulièrement bien à l'étude de thématiques fondamentales qui nécessitent un effort de longue haleine.

La coopération franco-allemande repose également sur les contacts personnels qui s'établissent entre chercheurs des deux pays. Dans ce contexte, l'Université franco-allemande (UFA) constitue une pierre angulaire des échanges scientifiques franco-allemands.⁴⁷ L'UFA dédie chaque année en moyenne 1,5 m^{ns} d'euros au soutien de la coopération franco-allemande en matière de recherche. Ce soutien se traduit notamment par des bourses de mobilité accordées aux jeunes chercheurs impliqués dans un programme doctoral franco-allemand. Cofinancée par les gouvernements français et allemands, l'UFA est une organisation universitaire binationale, qui gère son budget de manière indépendante. Cette institution unique en son genre, permet de promouvoir et d'animer les liens

⁴⁵ Magdalena Kaufmann-Spachtholz and others, « A French-German Research Institute as an Example for Long-Term Bilateral Scientific Cooperation », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 159–67.

⁴⁶ « New German-French Research Unit on Cancer and Infections », <https://www.dkfz.de/en/presse/pressemitteilungen/2012/dkfz-pm-12-14-New-German-French-research-unit-on-cancer-and-infections.php> [accessed 4 October 2018].

⁴⁷ Otto Theodor Iancu, « Promoting Cooperation between French and German Universities by Encouraging the Mobility of Young Researchers and Integrated Courses of Study », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences* (Fraunhofer Verlag, 2013), pp. 119–28.

entre universités françaises et allemandes, en créant notamment un vivier d'expériences franco-allemandes parmi les jeunes chercheurs. Ce travail contribue à renforcer l'attractivité de l'espace européen de recherche face à la fuite des cerveaux vers les Etats-Unis et plus récemment la Chine.

Sur un plan régional, la proximité géographique des régions frontalières comme l'Alsace et le Bade-Wurtemberg est vecteur de potentialités. Ainsi, le Bade-Wurtemberg est le deuxième état allemand en termes de financement de la R&D énergétique.⁴⁸ Dans ce contexte, la *Conférence franco-germano-suisse du Rhin supérieur* a créé une *Commission Energie et Climat*, qui tente d'activer les potentiels transfrontaliers en matière d'énergies renouvelables et de protection du climat.⁴⁹ Néanmoins, les acteurs régionaux français ne disposent pas de budgets adaptés au financement de projets de R&D appliquée. Aussi, les actions engagées se limitent-elles pour l'instant à la création de plateformes d'échange et de dialogues d'experts. Le réseau TRION a été créé dans ce but et permet depuis 2009 l'échange d'informations dans le domaine des SER et sert de plateforme de dialogue entre experts et scientifiques de part et d'autre du Rhin.

3.2 Evolution récente de la coopération franco-allemande en matière de R&D énergétique

Historiquement, la coopération franco-allemande en matière de R&D énergétique a démarré dans le domaine du nucléaire. En effet, au cours des années 60, l'état fédéral allemand développe une politique volontariste en matière de recherche énergétique, notamment dans le domaine nucléaire (cf. Annexes V.1.b) et V.2.). Les intérêts convergents de la France et de l'Allemagne dans ce domaine conduiront alors à une intensification des échanges. Ils se concentrent sur l'étude de technologies nucléaires innovantes, comme les réacteurs à neutrons rapides à caloporteur sodium.⁵⁰ La construction de réacteurs expérimentaux en France

⁴⁸ *Bundesbericht Energieforschung 2018*.

⁴⁹ Jürgen Oser, « Protection Du Climat, Énergies Renouvelables et Efficacité Énergétique Dans La Région Métropolitaine Trinationale Du Rhin Supérieur », in *La Transition Énergétique – Un Défi Franco-Allemand et Européen*, Travaux et Documents Du CIRAC (CIRAC, 2017), pp. 103–14.

⁵⁰ Gabriele Berberich, *40 Jahre Deutsch-Französische Zusammenarbeit in Forschung Und Technologie : Bilanz Und Perspektiven* (BMBF, 2005), pp. 34–37.

et en Allemagne donne lieu à une collaboration importante entre les équipes de chercheurs du CEA, du Centre de recherche de Karlsruhe (*Forschungszentrum Karlsruhe*, aujourd'hui KIT). Plusieurs accords successifs signés entre le CEA et le *Forschungszentrum Karlsruhe* constitueront la base de cette collaboration, financée sur la base des fonds propres des organismes. Ces accords se traduisent par la mise à disposition d'installations de recherche, l'échange de chercheurs et la mise en commun de résultats. Néanmoins, dans les années 80 les conditions cadre de la R&D énergétique changent profondément en Allemagne. On assiste à la montée d'une contestation anti-nucléaire forte, menant à une diminution progressive des fonds alloués à la R&D nucléaire. La coopération franco-allemande va alors se recentrer progressivement sur la sûreté des réacteurs, le traitement des déchets et le démantèlement des centrales.

La fin des années 90 marque le début d'efforts de R&D renforcés dans le domaine des NTE, notamment les énergies renouvelables. Durant cette période, la gouvernance du soutien public français à la R&D est en pleine transition (cf. I.2.a) et Annexe V.1.a)). Durant cette phase transitoire, les échanges sur des stratégies bilatérales resteront limités. La coopération franco-allemande dans le domaine énergétique restera limitée à quelques projets internationaux financés dans le cadre des premiers PCRD.⁵¹ Les forums franco-allemands de la recherche mis en place depuis 2002 permettent de relancer la réflexion sur le rôle du tandem franco-allemand en matière de recherche, grâce aux échanges entre scientifiques, industriels et politiques. Ces forums répondent au constat d'une montée de la concurrence internationale en matière d'innovation. En réponse, on constate au plus haut niveau politique le fort potentiel inexploité de la collaboration franco-allemande en matière d'innovation (cf. rapport Beffa/Cromme en Annexe V.1.a)). Ces réflexions relancent l'idée que des projets bilatéraux de R&D appliquée au service de l'innovation de pointe nécessitent un cadre financier dédié. Cette réflexion mène alors à l'étude de modèles de programmes de recherche bilatéraux, complémentaires par rapport au PCRD. Ces programmes devraient d'une part permettre de renforcer de manière ciblée des partenariats franco-allemands restreints. Dans un souci d'efficacité on veut évi-

⁵¹ < Geothermie >, <http://www.bine.info/themen/erneuerbare-energien/geothermie/publikation/geothermische-stromerzeugung-in-soultz-sous-forets/?type=333> [accessed 4 October 2018].

ter la formation de grands consortiums internationaux comme dans le cadre du PCRD. D'autre part, la mise en place de programmes franco-allemands devrait permettre de financer de manière ciblée la collaboration sur des thématiques présentant des synergies fortes entre acteurs français et allemands de l'innovation. En 2008, lors du 3^e forum de la coopération franco-allemande en recherche, la ministre de la Recherche de l'époque, Valérie Pécresse commentera les premiers essais de programmes bilatéraux en ces termes :⁵²

Ces partenariats doivent [...] conduire à une meilleure coordination des programmes de recherche, éviter la multiplication des programmes plus ou moins semblables pour privilégier la mise en commun des compétences.

Dans un contexte de pression concurrentielle internationale toujours plus forte, les programmes de recherche franco-allemands ne sont plus vus comme un simple vecteur de l'amitié franco-allemande. Ces programmes deviennent un vecteur d'efficacité de l'action publique, dans le but de mutualiser connaissances et savoir-faire afin de rester dans la course à l'innovation.

Suite à la création de l'ANR en 2005, plusieurs modèles de programmes bilatéraux vont être testés. Un premier effort conjoint de soutien à la R&D énergétique est lancé en 2007, dans le cadre d'un MoU entre le BMWi et le MESR. Dans le cadre de cet accord, le *Plan d'action national sur l'hydrogène et les piles à combustible* (PAN-H), géré par l'ANR et le 5^e programme fédéral de R&D énergétique (5. *Energieforschungsprogramm*) sont ouverts à des consortiums franco-allemands dans le cadre d'appels à projets visant le développement de technologies énergétiques alternatives aux énergies fossiles.⁵³ Au total, quatre projets seront financés conjointement pour un volume de 10 m^{ns} d'euros sur une période de trois ans.

Néanmoins, cette première tentative est caractérisée par une harmonisation restreinte, avec en premier lieu un financement indépendant côté allemand et français (*distributed pots*). Il ne s'agit pas encore d'un programme bilatéral dédié, mais simplement de l'ouverture de programmes nationaux aux partenaires

⁵² *Actes du 3ème forum de la coopération franco-allemande en recherche, 2008, //www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid23004/actes-du-3eme-forum-de-la-cooperation-franco-allemande-en-recherche.html* [accessed 16 July 2018].

⁵³ Andrea Ballouck, « Opening up National Research Programmes as a Strategy for International Applied Research », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 63–70.

outré-Rhin. De même, les processus de candidatures, d'évaluation, de sélection et de suivi ont été menés séparément par l'ANR et le porteur de projet du BMWi. Du fait de ces procédures disjointes, ce premier appel à projet commun s'est surtout révélé bénéfique pour des partenaires franco-allemands possédant déjà une expérience de coopération commune et des objectifs fortement convergents.⁵⁴

3.3 Etude d'un programme de R&D appliquée franco-allemand

3.3.1 Mise en place du Programme Inter Carnot Fraunhofer (PICF)

Les défis scientifiques et technologiques qui apparaissaient au grand jour dans les années 2000, rendent évidents la nécessité d'aller au-delà l'ouverture des programmes de recherche nationaux comme ce fut le cas pour PAN-H (cf. II.2.). En effet, il s'agit de valoriser les synergies franco-allemandes inexploitées, en favorisant des partenariats nouveaux à caractère fortement innovant. La réflexion commune du MESR et du BMBF aboutit alors à l'idée d'un appel à projet commun. La stratégie développée repose d'abord sur des appels ouverts au sens thématique, c'est-à-dire qu'ils engloberont des thématiques larges. Cette ouverture doit encourager la recherche de partenaires nouveaux de part et d'autre du Rhin, notamment dans le domaine de la R&D appliquée.

Sur la base de ces réflexions, un accord est signé en 2005 entre le MESR et le BMBF à l'occasion du 2^e forum franco-allemand de la recherche. En parallèle, la France mettait en place le label *Institut Carnot*, s'inspirant du modèle des instituts Fraunhofer. Ce label attribué pour une période de cinq ans suite à une procédure de sélection, certifie la proximité de la R&D d'un organisme public avec les besoins des entreprises. De plus, le label Carnot implique une allocation de moyens privilégiée à travers l'ANR. La mise en place des labels Carnot se fera avec l'aide d'un employé de la Société Fraunhofer détaché d'abord auprès

⁵⁴ Elisabeth Rossinot, « Getting High on Energy : Co-Operating on Fuel Cell Development », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 71-78.

de l'ANR.⁵⁵ L'autre objectif de cet échange sera de mettre en place d'un appel à projets franco-allemand ouvert entre les instituts Carnot et les instituts de la Société Fraunhofer.

Un premier appel résultant de cette initiative, baptisé *P2IC*, sera lancé en 2007. Cet appel avait pour but la mise en place de partenariats stratégiques entre les instituts Carnot et Fraunhofer. La gestion de l'appel était alors assurée côté français par l'ANR. Côté allemand, le BMBF délèguait la gestion de l'appel et des fonds alloués au porteur de projet Fraunhofer. Le *P2IC* se caractérise alors toujours par des procédures distinctes pour les partenaires français et allemands.⁵⁶ Les étapes de candidature, d'évaluation, de sélection et d'évaluation des parties françaises et allemandes sont décorréliées. Il en résulte des situations paradoxales où des projets bilatéraux reçoivent un financement attribué unilatéralement à l'un des partenaires.⁵⁷ L'autre partenaire devant se financer par ses propres moyens, le projet ne pouvait démarrer.

Le bilan du *P2IC* fut positif en cela que l'absence d'appel bilatéral n'aurait pas incité à l'exploration de nouveaux partenariats franco-allemands (pas d'appel – pas de collaboration, *no call – no collaboration*). De plus, les difficultés rencontrées dans la coordination des procédures nationales distinctes conduisirent à une réflexion approfondie sur la forme à donner à un appel à projet bilatéral. Ces travaux aboutirent au développement d'un modèle reposant sur une procédure entièrement conjointe de la candidature initiale à l'évaluation finale du projet abouti.

Sur la base des leçons tirées du *P2IC*, un MoU fut signé à l'occasion du 3^e *forum franco-allemand de la recherche* en 2008. Ce MoU mettait en place le *Programme Inter Carnot Fraunhofer (PICF)* dédié aux projets franco-allemands dans le domaine de la R&D appliquée. Le PICF fut doté de 30 m^{ns} d'euros répartis sur trois appels à projet et financés à parts égales par le BMBF et l'ANR. Côté allemand, la part de financement PICF était de 100 %, alors que côté français cette part était

⁵⁵ Volker Tippmann, « An Open Bilateral Call for Applied Research Projects between Fraunhofer and Carnot Institutes : *P2IC* », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 79–85.

⁵⁶ Tippmann.

⁵⁷ Sigrun Hirsekorn, « Different Funding Structures and Research Missions as Opportunities for Trans-Border Cooperation », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences* (Fraunhofer Verlag, 2013), pp. 99–102.

plus variable, avec une moyenne de 45 % des frais engagés par les partenaires français couverts par l'ANR. Il est à noter que devant la large palette de thématiques abordées (santé, NTIC, énergie, environnement, sécurité, transport)⁵⁸, l'allocation d'un budget spécifique constitua un défi majeur pour le BMBF. En effet, contrairement au PICF, les appels à projet du BMBF sont habituellement axés sur une thématique précise correspondant à la compétence d'un bureau déterminé. Les budgets sont alors alloués aux projets retenus par le bureau en question. Dans le cas d'un appel ouvert comme le PICF, les thématiques diverses concernaient différents bureaux du BMBF et posaient le problème de l'allocation d'un budget commun. Ce cas de figure n'étant pas prévu, la solution retenue vit le bureau en charge des nouveaux outils pour le soutien à l'innovation prendre en charge le PICF. Le PICF devenait donc pour le BMBF un essai stratégique, en vue de tester un nouvel outil de soutien. De cette manière, un budget unique put être mis en place.

Toujours dans une vision stratégique de renforcement des liens scientifiques franco-allemands, les objectifs affichés du programme étaient de :

1. Renforcer le leadership des partenaires français et allemands en matière de recherche industrielle (au niveau national ou international)
2. Préparer le transfert de technologies et de connaissances vers l'industrie
3. Mettre en place des alliances stratégiques franco-allemandes dans le monde de la R&D

Par rapport au P2IC, les procédures encadrant le PICF furent conçues de manière conjointe par l'ANR et la FhG, conduisant à un processus unique. Les trois appels à projet successifs prévus en 2008, 2009 et 2011 ont ainsi été gérés par un comité de pilotage composé de représentants du BMBF, du MESR, de la FhG et de l'ANR. Tout document (candidature, rapports) était produit conjointement en anglais par les partenaires, selon un calendrier unique et adressé à un comité d'évaluation composé d'experts français et allemands. Le porteur de projet du BMBF étant plus libre de s'adapter, le dépôt d'un dossier complet de candidature selon le modèle habituel de l'ANR fut choisi, à l'inverse du modèle allemand en

⁵⁸ < Deutsch-Französische Forschungskoooperation – Presseinformation 27. Oktober 2009 >, Fraunhofer-Gesellschaft, <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2009/10/deutsch-franzoesische-forschungskoooperation.html> [accessed 12 June 2018].

deux étapes (esquisse du projet, puis dossier complet dans un deuxième temps). Cet élément témoigne de l'importance de la disposition des partenaires à diverger de leurs procédures habituelles.

Cette procédure harmonisée devait assurer la synchronicité des étapes du projet pour les partenaires des deux pays. En outre, afin de prévenir les difficultés administratives résultant des différentes cultures institutionnelles, un accord de coopération standardisé fut proposé aux partenaires. Cet accord-type, conçu en amont du PICF conjointement par la FhG et l'Association des Instituts Carnot (AIC), devait permettre la signature rapide d'un contrat de collaboration entre les partenaires, moins de trois mois après le démarrage du projet. Grâce à cet accompagnement, et à travers la mise en place d'une structure de financement conjointe, basée sur des processus entièrement commune, le PICF constitue un précédent remarquable de programme bilatéral d'aide à la recherche en Europe.

3.3.2 Le projet CEA-Fraunhofer SOLARBOND

La collaboration entre le CEA-Leti (Laboratoire d'électronique des technologies de l'information) et l'institut Fraunhofer-ISE (Institut Fraunhofer pour les Systèmes Énergétiques Solaires) avait démarré dans les années 90 en s'articulant autour des expertises complémentaires des deux instituts. L'institut Fraunhofer ISE possède une expérience poussée dans le développement de cellules photovoltaïques hautement efficaces alors que le CEA-Leti est spécialisé en microélectronique. Dans le contexte de l'émergence d'une industrie photovoltaïque européenne compétitive dans les années 2000, l'entreprise Soitec, spécialisée dans les semi-conducteurs pour la microélectronique, recherche des partenaires pour étendre son domaine d'activité dans le domaine des systèmes photovoltaïques innovants. Les contacts préexistants entre le CEA-Leti et Soitec aboutissent alors naturellement à une réflexion sur un projet commun.

Dans ce contexte, l'appel à projet PICF sera l'occasion de concrétiser la convergence d'intérêts du CEA-Leti, d'ISE et de l'entreprise Soitec au sein d'un projet commun. Soumis lors du premier appel à projets PICF, le projet *Solarbond* voit le jour en 2009 avec l'objectif de développer des cellules photovoltaïques à très haut rendement dans le domaine du photovoltaïque à concentration en combinant les

compétences des partenaires.⁵⁹ Sur 3 ans, l'aide attribuée par l'ANR s'est élevée à 443 685 €⁶⁰, pour une somme équivalente accordée par le BMBF à travers le porteur de projet Fraunhofer.

Le projet *Solarbond* a permis de développer une nouvelle génération de cellules photovoltaïques multi-jonction permettant un rendement deux fois supérieur aux cellules classiques. Le CEA-Leti et Soitec ont joué un rôle essentiel dans cette avancée technologique, en apportant leur savoir-faire dans l'assemblage des différentes couches cristallines. Les partenaires français ont notamment su adapter un procédé d'assemblage issu de la micro-électronique au cahier des charges spécifique du photovoltaïque. Les cellules photovoltaïques ainsi assemblées par ISE sur la base du procédé français ont permis d'atteindre des rendements record.

Un autre aspect important de l'implication des partenaires français a été la baisse des coûts de production. En effet les couches cristallines successives devaient jusqu'alors être cultivées sur des substrats ultra-purs, représentant un coût important. Ces substrats étaient incorporés aux couches et ne servaient donc qu'une fois. Afin de réduire les coûts matériels liés aux substrats, les partenaires français sont parvenus à développer des substrats réutilisables, réduisant de cette manière les coûts de production des cellules multi-jonction de 20%.⁶¹ Devant les résultats exceptionnels de *Solarbond*, le CEA-Leti et l'institut Fraunhofer ISE se sont vus remettre conjointement le prix franco-allemand de l'Economie dans la catégorie *best practice* par la Chambre franco-allemande du Commerce et de l'Industrie le 5 décembre 2011.⁶²

Malgré ce bilan très positif, le financement PICF de *Solarbond* prend fin au bout des trois ans en 2011. Aucune possibilité de prolongation des financements n'étant prévue par le programme PICF. C'est essentiellement Soitec qui pren-

⁵⁹ <https://energie-fr-de.eu/fr/qui-sommes-nous/adherents/projets-r-d/lecteur/la-cooperation-dans-le-domaine-de-la-recherche-entre-lise-le-cea-leti-et-soitec-un-exemple-phare-de-collaboration-franco-alleman.html> [accessed 12 November 2018].

⁶⁰ http://www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/user_upload/documents/aap/2009/finance/PICF-financement-2009.pdf [accessed 12 November 2018].

⁶¹ https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/presseinformationen/2011/pi90_wirtschaftspreis_ISE.pdf [accessed 12 November 2018].

⁶² https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/presseinformationen/2011/pi90_wirtschaftspreis_ISE.pdf [accessed 12 November 2018].

dra le relai, investissant plusieurs millions dans les activités développées autour du solaire à concentration dans le cadre de *Solarbond*. Le Leti et ISE contribueront également en prélevant sur leurs fonds propres. ISE lancera en particulier en 2013 un projet industriel avec Soitec, visant au développement d'une cellule photovoltaïque commerciale, reposant sur la technologie et les techniques de production développées dans le cadre de *Solarbond*.⁶³ En parallèle du projet, Soitec avait acquis en 2009 la société *Concentrix solar*, une spin-off d'ISE spécialisée dans le PV à concentration. Ce rachat témoigne de l'engagement de *Soitec*, en phase avec ses investissements dans le projet *Solarbond*. Dès 2014, un nouveau record à 46% de rendement a pu être atteint dans le cadre de cette collaboration, confirmant le transfert technologique réussi des techniques issues du CEA-Leti vers le partenariat ISE-Soitec.⁶⁴ Fin 2014, Soitec décide néanmoins de se retirer de toutes activités liées au PV à concentration, ce qui inclue les activités issues de *Solarbond*. Cette décision est liée à la crise de l'industrie photovoltaïque européenne.

Afin de maintenir la coopération réussie entre le CEA-Leti et ISE, les partenaires décident en 2014 de créer un laboratoire virtuel *Virtual Lab* qui regroupera ISE, le CEA-Leti et le nouvel institut CEA dédié au solaire, INES.⁶⁵ Cette structure basée sur un contrat de coopération précis et exhaustif permet une mutualisation formalisée des capacités de recherche et un échange d'informations basé sur des règles précises. La collaboration est facilitée par la proximité géographique des partenaires. Néanmoins, avec le retrait de Soitec et l'absence de suite au PICF, le *Virtual Lab* repose uniquement sur les fonds d'ISE et du CEA et quelques appels à projet européen (qu'on cherchait justement à éviter). Afin de relancer la coopération, les partenaires sont actuellement à la recherche de financements.

⁶³ <https://www.pressebox.de/inaktiv/fraunhofer-institut-fuer-solare-energiesysteme-ise/Vierfach-Solarzelle-mit-43-6-Prozent-Wirkungsgrad-unter-konzentriertem-Licht/boxid/598248> [accessed 12 November 2018].

⁶⁴ <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2014/new-world-record-for-solar-cell-efficiency-at-46-percent.html> [accessed 12 November 2018].

⁶⁵ < « Virtual Lab » Specializes in Ultra-High Efficiency Solar Cells from Europe – CEA Tech and Fraunhofer ISE Strengthen Their Cooperation – Fraunhofer ISE >, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2015/virtual-lab-specializes-in-ultra-high-efficiency-solar-cells-from-europe.html> [accessed 1 June 2018].

3.3.3 Bilan du projet SOLARBOND

Du point de vue des équipes impliquées dans le projet Solarbond, le bilan est clairement positif puisqu'un transfert technologique réussi a eu lieu entre les partenaires. Les instituts ISE et CEA-Leti ont pu développer conjointement un processus de fabrication innovant de cellules photovoltaïques au rendement exceptionnel, en s'appuyant sur les compétences complémentaires des deux partenaires. La collaboration active avec l'entreprise Soitec a permis d'amener ce produit très loin sur l'échelle TRL, quasiment jusqu'à la commercialisation. *Solarbond* aura ainsi conduit à l'établissement de liens de confiance entre le CEA et ISE.

Les équipes ont particulièrement apprécié la possibilité d'un projet bilatéral permettant de passer outre les financements européens. Un financement PCRD aurait nécessairement conduit à l'implication d'au moins un partenaire issu d'un pays tiers, conduisant à un montage artificiel éloigné des nécessités du projet et à une dilution des moyens. Le PICF aura à l'inverse permis de se recentrer sur une collaboration reposant sur un intérêt mutuel fort de deux partenaires aux compétences complémentaires et de force comparable.

Durant le projet *Solarbond*, une première difficulté a été liée aux différentes cultures institutionnelles du CEA et de la FhG. De par ses liens régaliens historiquement étroits, le CEA se caractérise par une forte hiérarchisation, conduisant à une certaine inertie des processus décisionnels. A l'inverse, l'indépendance des organismes de recherche allemands se traduit par une hiérarchie plus horizontale, avec une plus forte autonomie des responsables de projet et un nombre réduit d'étapes dans le processus décisionnels. Cette disparité dans les processus décisionnels a pu conduire à certaines frustrations côté allemand, les partenaires français étant parfois perçus comme freinant l'avancée du projet. A l'inverse, du fait de ce processus décisionnel lourd, la mise en œuvre des décisions prises côté français repose sur une base plus solide. Les partenaires français ont ainsi pu s'étonner de changements de cap plus fréquents de la part des partenaires allemands.

Un revers majeur pour le partenariat franco-allemand a été le désengagement de Soitec en 2014. Il semblerait que cette décision soit liée à la concurrence ardue

sur le marché du PV à concentration.⁶⁶ Soitec a en particulier dû faire face à des pertes financières importantes liées à ses investissements américains. L'absence de commercialisation du produit final développé à partir de *Solarbond* s'explique donc plutôt par les aléas de la R&D industrielle dans un contexte de marché.

Devant un partenariat réussi mais en l'absence de financements-relai, la création du *Virtual Lab* propose un modèle efficace pour la pérennisation de la collaboration bilatérale sur le long terme. En effet le *Virtual Lab* prévoit des réunions physiques ou virtuelles régulières, permettant de se tenir au courant des évolutions stratégiques de part et d'autre et d'étudier régulièrement de nouvelles opportunités de collaboration. Même en l'absence de financements extérieurs, cette structure assure ainsi le maintien des échanges, indépendamment des liens personnels. Le cadre formel du MoU assure en outre une mutualisation des moyens de recherche en permettant aux équipes de collaborer sur la base de procédures préétablies, par exemple pour l'utilisation d'instruments. On peut en conclure que *Solarbond* a conduit à la création d'un groupe de recherche franco-allemand virtuel, produisant des résultats bien réels.

Il en reste néanmoins que la R&D énergétique se concrétise généralement par des projets à haute composante technologique, nécessitant des investissements au-delà du million d'euros. Le PICF a permis une première expérience commune positive, conduisant à une prise de confiance des partenaires. Le *Virtual Lab* a ensuite permis de pérenniser ce contact. Il reste à trouver des outils adaptés à la poursuite de collaborations bilatérales en l'absence de partenaires industriels. La question se pose notamment pour les thématiques liées aux NTE, qui sont souvent novatrices et donc au-delà de l'horizon classique des partenaires industriels. On est alors dans le cas de figure de l'innovation de rupture, qui en l'absence de partenariat industriel requiert un engagement financier important et risqué de la part des acteurs publics.

⁶⁶ Document de Référence 2017–2018 Intégrant Le Rapport Financier Annuel (Soitec), https://www.soitec.com/media/upload/1_assemblee_generale/20180726_AGOE_VF/Soitec-DDR-2017-2018-VFfinale.pdf [accessed 7 November 2018].

3.3.4 Bilan du PICF

En 2011, le PICF entrait dans sa troisième et dernière phase d'appels à projet. Les responsables français et allemands ont alors tiré un premier bilan du programme lors du 4^e forum de la coopération franco-allemande en recherche de 2011. Les projets du premier appel de 2008 s'achevaient alors et le succès de *Solarbond* illustre le fort potentiel de la coopération franco-allemande en matière de R&D appliquée. De nombreux nouveaux partenariats ont pu être initiés dans le cadre du PICF et les acteurs des projets ont souligné le caractère innovant et efficace de cet outil dédié à la coopération bilatérale.

Au-delà des leçons tirées du P2IC, un processus d'apprentissage continu avait permis la maturation du PICF au cours des appels à projet successifs. Ainsi, lors du premier appel de 2008, on n'avait pas pris en compte les conditions d'emploi des collaborateurs français. Or en France, ce type de projets est généralement à la charge de doctorants employés selon une procédure à calendrier fixe. La date de candidature ayant été dépassée lors du lancement du premier appel à projets en 2008, certains projets prirent alors un retard de plusieurs mois.⁶⁷ Cette particularité fut intégrée au calendrier du deuxième appel PICF en 2009, traduisant la volonté d'affiner les mécanismes du PICF au fur et à mesure de l'expérience commune.

Une particularité du PICF était qu'aucune possibilité d'extension des financements d'un projet au-delà du cadre de trois ans n'a été prévue. Or, de tels mécanismes ont été mis en place depuis 2007 dans le cadre des appels à projets ANR-DFG en sciences humaines pour un volume de financement annuel conjoint de 10 m^{ns} d'euros.⁶⁸ La possibilité de tels mécanismes de financements-relai permettrait de pérenniser les partenariats franco-allemands en R&D appliquée.

Concernant la suite à donner au PICF, à l'occasion du 3^e forum de la coopération franco-allemande en recherche la partie française proposa une extension du MoU

⁶⁷ Volker Tippmann and Dominique Buoncuore, « Programme Inter Carnot Fraunhofer (PICF) : A Joint Bilateral Call for Applied Research Projects between Fraunhofer and Carnot Institutes », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences* (Fraunhofer Verlag, 2013), pp. 103–11.

⁶⁸ Achim Haag, « Harmonisation of National Research Programmes : Enabling Joint Applications for Research Projects in Basic Research », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 49–54.

signé en 2008 et le renouvellement du PICF pour la période de 2012 à 2015.⁶⁹ A l'inverse, le BMBF ayant planifié le PICF comme l'essai d'un outil de soutien innovant, une prolongation posait problème. En effet, le PICF serait alors devenu un outil validé et ne pouvait plus être financé sur le budget du bureau en charge des outils de soutien innovants. Se posait alors la question de la mise en place d'un budget transdisciplinaire au sein du BMBF. C'est sur ce dernier point que la poursuite du PICF achoppa finalement. On peut également spéculer sur la question de savoir de savoir si le BMBF craignait de créer une redondance par rapport aux outils européens.

Le PICF illustre néanmoins un changement de paradigme dans la gouvernance publique du soutien à la R&D. Il s'agit du premier outil harmonisé de soutien à la R&D appliquée et qui se positionnait de manière complémentaire entre les programmes nationaux et européens. Le bilan positif du projet *Solarbond* incite à une analyse plus détaillée du PICF, en vue d'en tirer les leçons pour un soutien public efficace à la coopération franco-allemande en matière de R&D énergétique.

⁶⁹ Tippmann and Buoncuore ; *Actes du 4ème forum de la coopération franco-allemande en recherche*, 2011.

4 Perspectives pour la R&D franco-allemande dans le contexte de la transition énergétique

4.1 Obstacles...

4.1.1 ...au niveau individuel

En élargissant progressivement le champ d'étude de la coopération scientifique franco-allemande, on est d'abord confronté aux individus qui animent ces échanges au quotidien. Il s'agit notamment des chercheurs, qu'ils soient issus d'organismes publics ou d'entreprises. On note tout d'abord que les animosités d'après-guerre, qui pouvaient encore représenter une difficulté majeure dans les années 60 comme au moment de la création de l'ILL (cf. Annexe V.1.a)), ont aujourd'hui disparu au gré des changements générationnels et de la réconciliation franco-allemande.

La gestion d'équipes : Les obstacles qui s'imposent au moment de la collaboration de chercheurs français et allemands sont d'abord d'ordre interculturel. Des différences notoires apparaissent ainsi dans la gestion d'équipes, notamment lorsqu'il s'agit de déléguer. Côté allemand, un chef d'équipe ou de projet délèguera naturellement une part importante de responsabilité et de liberté décisionnelle aux membres de son équipe. A l'inverse, côté français, la délégation se limitera plus souvent à une délégation de tâches, le chef se réservant les décisions.⁷⁰

⁷⁰ Christoph Barmeyer and Eric Davoine, « Intercultural Difficulties in French-German Research and Development Projects », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 31–40.

Ces différences reflètent les différences profondes des fonctionnements hiérarchiques de part-et-d'autre du Rhin. Les structures hiérarchiques françaises ont été décrites comme des *pyramides humaines*, avec à leur tête un patron et une forte centralisation du pouvoir décisionnel vers les supérieurs hiérarchiques (les $n+1$).⁷¹ Ce modèle se retrouve en particulier dans des structures historiquement centralisées et proches des intérêts stratégiques de l'Etat comme le CEA. A l'inverse, la hiérarchie allemande se révèle plus horizontale, le personnel dirigeant (*Führungskraft*) interagissant avec ses collaborateurs (*Mitarbeiter*) dans une logique d'égal-à-égal (*primus inter pares*). Cette perception très différente des rôles peut amener des difficultés dans la conduite de projets franco-allemands. En effet, dans le cadre de réunions de travail, des interlocuteurs français et allemands occupant des postes en apparence équivalents d'un point de vue hiérarchique, ne posséderont pas le même pouvoir décisionnel. Côté allemand, l'impossibilité de prendre une décision conjointe en l'absence du fameux $n+1$ français, peut paraître frustrante. A l'inverse, un cadre français pourrait se sentir dévalorisé si la partie allemande est représentée par un interlocuteur de rang en apparence inférieur, même si celui-ci possède en réalité les capacités décisionnelles requises. La difficulté de part-et-d'autre revient alors à trouver et à reconnaître son homologue. Ces situations sont particulièrement critiques en amont d'un projet de coopération, lorsqu'il s'agit de trouver une manière de collaborer. On aboutit rapidement à une impasse ou les interlocuteurs ne se sentent pas pris au sérieux, font un retour négatif auprès de leur organisation et renoncent à collaborer.

Décalages de phase franco-allemands : Au-delà des différences de rapports hiérarchiques, l'expérience des chercheurs français et allemands impliqués dans le PICF révèle également un rapport différent au temps, qui se retrouve dans la gestion des réunions de travail.⁷² En effet, pour les partenaires français une réunion sera l'occasion de sonder les visions de chacun et de discuter ouvertement de l'organisation du projet. La préparation de la réunion sera en conséquence relativement tardive et peu détaillée, le véritable travail de mise en forme démarrant après les discussions de fond qui ont lieu durant la réunion. A l'inverse, l'ap-

⁷¹ Geert Hofstede, Gert Jan Hofstede, and Michael Minkov, *Cultures and Organizations – Software of the Mind : Intercultural Cooperation and Its Importance for Survival*, 3., revised edition (New York : McGraw-Hill Education Ltd, 2010).

⁷² Frank Baasner, « Deutsch-Französische Kooperation – Kulturelle Und Kommunikative Herausforderungen, Ein Workshop Für Den 9. Jahrgang MEGA 2017/18 » (Berlin, 2017).

proche allemande implique une préparation bien plus précise et détaillée de la réunion, dont l'objet est la validation. Les discussions et négociations ont lieu en amont de la rencontre. Après la réunion, il ne reste donc plus qu'un travail formel de documentation des décisions prises. Dans le contexte franco-allemand, une méconnaissance préalable de ces spécificités culturelles peut mener à des rapports tendus. L'allemand risque de voir son partenaire français comme désorganisé devant son manque d'enclin à préparer la réunion commune. Il pourra même y voir un manque de volonté de la part de l'organisation partenaire à coopérer. À l'inverse, le français risque de voir son interlocuteur allemand comme borné, retranché sur ses principes et peu ouvert à la discussion ouverte qu'il envisage lors de la réunion. La culture spécifique des entreprises peut venir brouiller ce constat, il semble néanmoins valable dans le cadre des organismes de recherche étudiés dans le cadre du PICAL. En l'absence de communication claire sur ces points, on risque à nouveau la création d'animosités entre partenaires à un stade précoce du projet. Les partenaires risquent même d'interpréter des comportements et des habitudes de travail qui leur sont inconnus comme le reflet d'une réticence sous-jacente de l'organisation partenaire à collaborer.

La communication professionnelle : Un dernier point de divergence relève de la communication entre partenaires. En France, un aspect important de la collaboration est l'établissement de rapports personnels. Dans cette vision, les déjeuners de travail et les discussions sur un plan personnel sont un vecteur important de rapprochement humain et de création de confiance. À l'inverse, ces éléments ne font pas partie du répertoire du monde professionnel allemand, qui applique une séparation plus stricte des rapports privés et professionnels. Les allemands pourront donc être perçus comme froids, les français comme outrepassant certaines limites.⁷³ Un autre aspect de ces modes de communication distincts se retrouve dans le cadre des discussions. Alors qu'un chercheur français tiendra un propos plus indirect, évitant la confrontation immédiate, son interlocuteur allemand tiendra un discours plus factuel, détaché des sensibilités individuelles. Une critique allemande d'intention neutre, axée sur une analyse des faits sera ainsi facilement perçue par les français comme destructive, voire même comme une attaque personnelle. L'allemand au contraire risque de critiquer le discours

⁷³ Baasner, « Deutsch-Französische Kooperation – Kulturelle Und Kommunikative Herausforderungen, Ein Workshop Für Den 9. Jahrgang MEGA 2017/18 ».

évasif de ses collègues français et la difficulté perçue à mener une discussion factuelle, orientée sur les objectifs à atteindre.

4.1.2 ...au niveau institutionnel

Structures organisationnelles : L'étude des structures de la R&D énergétique en France et en Allemagne avait révélé des différences importantes (cf. I.2.a9 et b) et Annexe V.1.). En France, des organismes de recherche publique comme le CEA sont placés directement sous la tutelle de l'état, alors que l'indépendance des organismes de recherche allemands est un élément central, garanti par la Loi fondamentale. Ces disparités se traduisent par des temporalités différentes dans le processus décisionnel en amont d'un projet. Côté français par exemple, la validation d'un projet international d'envergure impliquera notamment un cheminement plus complexe à travers la hiérarchie d'un organisme de recherche public. Ces différences impliquent un travail de renseignement préalable de la part des futurs partenaires. Il semblerait néanmoins que cet obstacle ne soit pas spécifique à la coopération scientifique franco-allemande. Habités à interagir avec leurs pairs étrangers, il semble que les chercheurs soient préparés à ces fonctionnements institutionnels différents. Il en résulte que les différences de fonctionnement institutionnels n'ont pas été relevées comme une pierre d'achoppement majeure dans le cadre du PICF.

Rôle des personnalités-clé : Que ce soit dans le cadre du P2IC et du PICF, de nombreux acteurs soulignent le rôle central de personnalités-clé dans l'établissement et l'avancement des projets individuels.⁷⁴ Dans le cadre de *Solarbond*, F. Dimroth, directeur du département *Épitaxie et cellules photovoltaïques* d'ISE a pu jouer ce rôle côté allemand. Son engagement semble avoir été un facteur important du succès de *Solarbond*. Son activité se reflète dans de nombreuses interviews⁷⁵ et a

⁷⁴ Roland Rösch and Hellen Altendorf, « A Creative Way to Establish French-German Research Collaboration : The Example of Ecole Des Mines de Paris and Fraunhofer ITWM », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences* (Fraunhofer Verlag, 2013), pp. 93–97.

⁷⁵ Frank Dimroth, La coopération dans le domaine de la recherche entre l'ISE, le CEA-Leti et Soitec : un exemple phare de collaboration franco-allemande, <https://energie-fr-de.eu/fr/qui-sommes-nous/adherents/projets-r-d/lecteur/la-cooperation-dans-le-domaine-de-la-recherche-entre-lise-le-cea-leti-et-soitec-un-exemple-phare-de-collaboration-franco-alleman.html> [accessed 7 September 2018].

été récompensée par le Grand Prix scientifique 2010 de la Fondation Louis D. décerné par l'Institut de France, le regroupement des cinq académies françaises.⁷⁶ Néanmoins, ce constat pose la question de la continuité de la coopération en cas de départ d'une personnalité-clé. Cette situation est notamment apparue dans le cadre de la coopération de l'institut Carnot ARTS et du Fraunhofer IZFP lors de l'appel à projet P2IC.⁷⁷ Confrontés à des difficultés importantes dans la mise en place du projet commun, les échanges se sont finalement arrêtés avec le départ à la retraite d'une personnalité-clé. Ce résultat montre que dans sa phase précoce, l'établissement d'un partenariat stratégique est particulièrement vulnérable aux aléas de la mobilité d'acteurs individuels engagés.

Systèmes éducatifs : Certains projets franco-allemands se sont vus confrontés à des problèmes liés aux systèmes d'études supérieures en France et en Allemagne. Les évaluateurs d'un appel ANR-DFG lancé en 2010 ont par exemple relevé des différences dans les compétences des étudiants participants aux échanges dans le cadre des projets.⁷⁸ Alors que les parcours universitaires allemands intègrent généralement une formation à la recherche dès la phase initiale, le système éducatif français n'intègre la recherche qu'à partir du niveau master ou bien après la classe préparatoire pour les ingénieurs. A cet endroit, on retrouve la tradition allemande de formation par la recherche théorisée par Alexander von Humboldt qui s'oppose à la séparation stricte de l'éducation et de la recherche voulue par Condorcet.

Harmonisation des procédures d'appels d'offres et d'évaluation : L'une des principales leçons du programme P2IC, avait été l'incertitude générée par des procédures décorréées. Dans le cas du projet ARTS/IZFP, les partenaires français de l'ARTS reçurent un avis négatif. A l'inverse l'IZFP reçut un avis positif après avoir passé avec succès les deux étapes du processus allemand. Le projet n'étant financé que du côté allemand, il ne put être mis en œuvre. En outre, l'expérience du montage d'un projet commun, devant ensuite être adaptée à deux systèmes d'évaluation

⁷⁶ < Frank Dimroth >, http://grands-prix-2010.institut-de-france.fr/laureats_dimroth.php [accessed 7 September 2018].

⁷⁷ Hirsekorn.

⁷⁸ Bénédicte Savoy and France Nerlich, < The Importance of Flexibility, Mobility, Academic Freedom and Cross-Cultural Competences for the Successful Organisation of Bilateral Research : Experiences of an ANR-DFG-Funded Project in Art History >, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences* (Fraunhofer Verlag, 2013), pp. 55–62.

différents, a conduit à une frustration importante des acteurs impliqués, résultant en une volonté diminuée de collaborer. Du côté des évaluateurs de l'ANR et du porteur de projet Fraunhofer, on put également assister à des tensions importantes. En effet aucune coordination n'était prévue au moment d'émettre les résultats de l'évaluation, certains acteurs recevant donc un avis positif, alors que le partenaire devait recevoir un avis négatif. Cette expérience montre qu'un manque de synchronisation des procédures peut avoir un effet négatif en termes de de renforcement des partenariats stratégiques.

Synchronisation des projets validés : Dans le cadre du PICF, un problème de bonne synchronisation des appels d'offre est apparu. Cette difficulté semble avoir été liée au calendrier universitaire français. En effet le recrutement des doctorants français a lieu annuellement à date fixe. Lors du premier appel PICF en 2008, les projets furent lancés après la date limite de recrutement des doctorants français, ce qui provoqua un retard de plusieurs mois dans certains projets.⁷⁹

Interprétation de la recherche appliquée : Un point relevé par les évaluateurs du programme PICF est l'interprétation différente du terme de recherche appliquée de la part des partenaires. Ces compréhensions différentes, peuvent mener à des malentendus quant à l'étendue du sujet à traiter. Dans le cas de la société Fraunhofer, le modèle de financement des instituts incite à la mise en place de projets fortement orientés vers l'application industrielle afin d'attirer des partenaires privés (cf. I.2.b)). Les sujets sont généralement traités par des employés et non par des doctorants, ce qui réduit encore la place de la recherche fondamentale.⁸⁰ Les projets de la FhG sont généralement mis sur pieds rapidement, adaptés aux besoins du partenaire industriel et souvent décorrés du rythme d'une thèse. A l'inverse, les organismes français emploient souvent des doctorants dans le cadre de sujets de recherche appliqués, ce qui oblige à coupler le projet au rythme et aux besoins de la thèse. Cette problématique est apparue dans certains projets du P2IC,⁸¹ mais n'a pas été relevée dans le cadre du projet PICF *Solarbond*, notamment du fait de l'orientation très similaire du CEA-Leti et d'ISE sur des sujets d'échelle TRL avancée.

⁷⁹ Tippmann and Buoncuore.

⁸⁰ Ibid.

⁸¹ Rösch and Altendorf.

Dans d'autres cas néanmoins, il s'agira de s'entendre au préalable sur l'étendue exacte de la problématique à traiter. La Société Max Planck (MPG), s'est récemment positionné sur des sujets très appliqués dans le contexte de la transition énergétique.⁸² La MPG constitue donc un partenaire de choix pour les acteurs français. Néanmoins sa forte activité de recherche fondamentale rend nécessaire une délimitation exacte du sujet à traiter.

Un ciblage thématique vague : Le nombre de projets dédiés aux NTE s'est limité au seul projet *Solarbond*. Or, ce projet pouvait s'appuyer sur des partenariats antérieurs au projet. Ce constat indique qu'un programme aussi ouvert que le PICF ne constitue pas l'outil le plus adapté au développement de partenariats nouveaux. En l'absence de thématiques précises, seuls des partenaires se connaissant déjà et ayant déjà mené une réflexion commune sur des projets potentiels ont été incités à participer au PICF. Ce constat indique que la valorisation de synergies franco-allemandes inexploitées en R&D énergétique, pourrait nécessiter un ciblage thématique plus précis que dans un programme ouvert comme le PICF.

L'absence de financements-relai : Une problématique centrale aussi bien du PICF que du P2IC, s'est révélé être l'absence d'option de renouvellement des financements. En particulier dans le cas d'une collaboration réussie, de nombreux acteurs du PICF ont souligné la valeur d'une possibilité de poursuite du soutien au projet, au-delà des trois ans, afin de pérenniser la collaboration. En effet, le développement conjoint d'une technologie mature, en particulier dans le domaine énergétique, peut s'étendre sur une décennie. La phase critique se situe alors au niveau du passage de la preuve de concept aux différentes phases de développement préindustriel. En effet, alors même que ces étapes nécessitent des financements extérieurs conséquents, le taux d'échec y est important. Ce constat s'explique par la difficulté à recruter des partenaires industriels, prêts à investir des sommes importantes dans des projets à risque. Le consortium issu de *Solarbond* a ainsi dû faire face au désengagement de la société Soitec, qui suite au PICF assurait une part importante des financements. La coopération CEA-Liten-ISE était

⁸² < « Wir wollen Hüttengas in Kraftstoffe, Kunststoffe oder Dünger umwandeln » >, <https://www.mpg.de/carbon2chem> [accessed 6 September 2018] ; < Teamwork für die Energie von morgen >, <https://www.mpg.de/10446485/maxnet-energy-forschung-zur-energiewende> [accessed 6 September 2018].

alors particulièrement exposée à un désengagement du partenaire industriel. La difficulté à trouver des financements dans la phase cruciale de développement préindustriel, se traduit par une *vallée de la mort* sur l'échelle TRL, où nombre de projets s'enlisent, faute de trouver des investisseurs.⁸³ Dans son analyse du projet *Solarbond*, F. Dimroth souligne ces difficultés et plaide pour une possibilité de financement-relai pour les projets bilatéraux couronnés de succès.⁸⁴ Cette option donnerait aux partenaires une sécurité accrue quant aux perspectives financières d'un projet. Un financement au-delà des trois ans augmenterait les chances d'amener une innovation technologique à un stade suffisamment mature, où elle serait susceptible de convaincre un partenaire industriel.

En-dehors du PICF, certains programmes franco-allemands se sont vus dotés d'outils de prolongation des projets. C'est en particulier le cas d'un programme conjoint de l'ANR et de la DFG, qui soutient depuis 2007 des projets en sciences humaines et sociales.⁸⁵ Dans ce cadre, une différence majeure entre les règles de financements de l'ANR et de la DFG a dû être résolue. Alors que la DFG permet de déposer une demande de prolongation de financement en cours de projet, l'ANR n'offre cette possibilité qu'une fois le projet clos. Cette règle de l'ANR conduisait à une discontinuité des financements, qui s'avérerait handicapante à la bonne marche des projets. Dans le cadre du programme ANR-DFG, les partenaires ont néanmoins décidé d'adopter le modèle allemand afin d'assurer la continuité des projets. Cette décision a été soulignée comme un élément particulièrement positif.

Côté allemand, le financement du PICF s'est heurté à une problématique particulière aux ministères fédéraux allemands en rapport avec l'allocation des budgets. En effet, un appel à projets ouvert à un large éventail de sujets impliquait nécessairement côté allemand des bureaux (*Fachreferate*) aux compétences distinctes. Or, ces bureaux ne disposent pas de budgets transdisciplinaire. Dans le cas du PICF, ce problème a pu être résolu ponctuellement grâce à l'intervention du *Fachreferat* en charge du développement stratégique. Vu à travers le prisme d'un instrument innovant de soutien à la recherche, le PICF a ainsi pu être finan-

⁸³ Klossa and Guillon.

⁸⁴ Frank Dimroth, « Project-Specific Public Funding Strategies Necessary for Research Cooperation from Prototypes up to Market Introduction », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 113–18.

⁸⁵ Haag.

cé sous l'étiquette du coup d'essai. Cette solution impliquait cependant l'arrêt du financement des projets PICF une fois cette première phase d'essai close. Une suite aurait signifié une validation du PICF en tant que nouvel outil de soutien et une reprise par les bureaux chargés des différentes thématiques. Cependant, aucun budget transdisciplinaire n'a pu être mis en place.

4.1.3 ...au niveau politique

L'analyse des politiques énergétiques françaises et allemandes et des politiques de soutien à la R&D qui leurs sont rattachées, a révélé une convergence d'intérêts au tournant du siècle (cf. I.2.). Néanmoins, alors que les deux pays sont en adéquation sur les grandes lignes, il subsiste certains obstacles politiques à la coopération en matière de R&D énergétique.

Intérêts stratégiques divergents : Tout d'abord, certains intérêts stratégiques divergents peuvent bloquer des initiatives communes. Ainsi, du fait du rejet de la technologie nucléaire, aucun gouvernement allemand ne soutiendrait un programme bilatéral en matière de R&D énergétique, qui intégrerait la R&D nucléaire (à l'exception de la fusion). A l'inverse l'état français maintient un soutien important aux acteurs innovants du secteur nucléaire tels que l'entreprise Orano (ex-Areva) ou bien la branche nucléaire du CEA.

Concurrence des entreprises innovantes : Alors que certains domaines donnent lieu à des synergies naturelles entre acteurs de la R&D français et allemands, des concurrences peuvent apparaître dans d'autres domaines. On peut citer de jeunes entreprises françaises et allemandes comme *Sylfen* et *Sunfire*, qui se positionnent toute deux sur le marché du stockage énergétique en proposant des technologies similaires de stockage par voie d'électrolyse haute température. Dans une telle situation, un état sera peu enclin à financer un projet bilatéral impliquant le concurrent étranger. Un défi majeur pour un programme franco-allemand de soutien au NTE sera donc de valoriser de manière ciblée les synergies constructives entre acteurs français et allemands.

Gouvernance du soutien public à la R&D énergétique : Des projets récents comme *Kopernikus* et *Carbon2Chem* (cf. I.2.b)) montrent qu'en Allemagne une nouvelle forme de gouvernance du soutien public à la R&D énergétique fait son chemin.

L'approche systémique du BMBF implique un engagement sur des sommes importantes sur des durées dépassant une période législative, tout en laissant une grande liberté aux acteurs impliqués. On ne trouve pas encore de projets équivalents côté français (cf. I.2.a)). Alors que l'idée des laboratoires à échelle réelle (*Reallabore* outre-Rhin) est déjà bien présente dans la communauté scientifique, l'idée fait encore son chemin auprès des acteurs français du soutien public à la recherche. La possibilité de mettre en place des programmes franco-allemands ouverts à des projets d'approche systémique reposera donc en grande partie sur la position des acteurs publics français vis-à-vis de cette nouvelle forme de gouvernance du soutien à la R&D énergétique.

Pérennisation des financements : On a pu noter sur des programmes à forte composante technologique comme P2IC et PICF un manque de volonté des acteurs politiques de s'engager sur les financements. Côté français, les fonds dédiés au PICF avaient en réalité été prélevés sur l'abondement Carnot.⁸⁶ Côté allemand, un financement dédié avait bien pu être mis en place. Néanmoins, malgré le bilan particulièrement positif du PICF, aucun renouvellement n'a pu être décidé côté BMBF. Techniquement cette décision a pu être liée à la difficulté de mettre en place un budget interdisciplinaire au sein du BMBF. Il en reste que cette décision recèle une dimension politique.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer des réticences de la part du BMBF. Tout d'abord, dans le contexte de la R&D énergétique internationale, le gouvernement accorde une place centrale au PCRD pour l'établissement de partenariats. En effet l'Allemagne est le plus gros contributeur au budget de l'UE,⁸⁷ mais également le plus grand bénéficiaire de financements *Horizon 2020* dans le domaine de la R&D énergétique (cf. I.2.c)).⁸⁸ Il apparaît donc naturel que l'Allemagne cherche à éviter la création de redondances face à un outil européen qui semble déjà bien fonctionner. Néanmoins, la pérennisation du programme ANR/DFG en sciences humaines et sociales évoqué en III.1.b), montre que le domaine thématique pourrait également jouer un rôle. Sur des projets à forte composante technologique comme dans la R&D énergétique, la comparaison entre

⁸⁶ *Actes du 4ème forum de la coopération franco-allemande en recherche.*

⁸⁷ < EU Contributions by Country >, *Statista*, <https://www.statista.com/statistics/316691/european-union-eu-budget-share-of-contributions/> [accessed 20 September 2018].

⁸⁸ *Bundesbericht Energieforschung 2018.*

les politiques publiques françaises et allemandes avait fait apparaître des différences importantes. En particulier, la France a une dépense publique nettement plus importante en matière de R&D énergétique que l'Allemagne, notamment à travers le crédit impôt recherche.⁸⁹ Ces différences traduisent en l'occurrence une politique plus interventionniste côté français, qui peut s'opposer à une approche plus libérale côté allemand. Sur des projets nécessitant des investissements financiers importants comme en R&D énergétique, on peut donc se poser la question si le BMBF ne craint pas une perte de contrôle en se laissant entraîner dans un programme bilatéral franco-allemand proluxe en financements.

Il en reste que le PICF en reste au coup d'essai et n'a pas pu s'imposer comme un modèle de renforcement de la coopération franco-allemande en matière de R&D énergétique, malgré des succès importants comme *Solarbond*. André Loesekrug-Pietri, qui plaidait le 17 mai 2018 devant le Groupe de travail franco-allemand sur le Traité de l'Élysée pour la mise en place d'un fond d'investissement franco-allemand, diagnostiquait ainsi aux acteurs publics un manque de vision stratégique sur le long terme en matière de soutien à l'innovation de rupture :

*Les institutions publiques n'ont pas l'agilité ni la culture d'expérimenter de nouvelles manières d'agir.*⁹⁰

Danger des projets phares : A l'extrême opposé d'un manque de volonté politique, il existe un dernier danger, celui des projets phares. Dans les années 2000, le projet de création d'un concurrent européen aux moteurs de recherche Yahoo et Google avait été poussé au plus haut niveau par le président Chirac et le chancelier Schröder.⁹¹ Des volumes d'investissement de plus de 400 m^{ns} d'euros avaient été prévus pour ce partenariat franco-allemand. Néanmoins, le projet *Quaero* n'aboutit jamais, du fait d'un manque de volonté de collaboration de la part d'entreprises comme Thales (à l'époque Thomson) et l'allemand *empolis*. Ce raté

⁸⁹ *Key Trends in IEA Public Energy Technology RD&D Budgets* (IEA, 2016), <https://euagenda.eu/upload/publications/untitled-60482-ea.pdf> [accessed 12 November 2018].

⁹⁰ André Loesekrug-Pietri, *Joint European Disruptive Initiative* (Berlin, 2018).

⁹¹ Christian Stöcker and Holger Dambeck, « Deutsch-Französische Suchmaschine : Quaero Ist Geplatzt », *Spiegel Online*, 19 December 2006, section Netzwelt, <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/deutsch-franzoesische-suchmaschine-quaero-ist-geplatzt-a-455558.html> [accessed 12 June 2018].

historique illustre les dangers d'une coopération qui serait essentiellement basée sur une volonté politique sans s'appuyer sur une synergie naturelle entre acteurs innovants.

4.2 Facteurs de réussite...

4.2.1 ...au niveau individuel

Les points d'achoppement relevés entre individus dans le cadre de projets franco-allemand ont souligné l'importance d'une prise de conscience préalable des différences interculturelles. En effet il s'agit de désamorcer en amont des situations potentiellement critiques.

Réservoirs d'expérience : Dans une optique de préparation, il s'agit de centraliser les expériences préalables de collaboration avec le potentiel partenaire. Dans le cas du projet *Solarbond*, les équipes du CEA-Leti et d'ISE pouvaient s'appuyer sur des échanges passés. Lors des réunions préparatoires, les chercheurs ayant déjà été au contact du partenaire outre-Rhin étaient ainsi encouragés à informer leurs collègues sur les habitudes de travail du partenaire.

Apprentissage de la communication interculturelle : Le PICF visait à créer des liens nouveaux entre partenaires inconnus. Dans ce cas, il convient de se préparer à la collaboration en s'informant auprès d'experts sur les défis interculturels spécifiques au partenaire. Le gestionnaire de projets du BMWi, (*Projekträger Jülich*) fait ainsi appel régulièrement à des experts en communication interculturelle afin de se préparer aux mœurs de travail des futurs partenaires.⁹² En outre, la discipline de la communication interculturelle est un domaine en plein développement, qui propose des outils de communication pratiques dans le contexte de la conduite de projets.⁹³ Bien que peu connue du milieu scientifique académique, la communication interculturelle fait dès à présent partie du répertoire des entreprises actives de part-et-d'autre du Rhin. La Chambre franco-allemande de

⁹² Ballouck.

⁹³ Frank Baasner, *Gérer la diversité culturelle : Théorie et pratique de la communication interculturelle en contexte franco-allemand*, 1st edn (Frankfurt am Main ; New York : Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften, 2005).

Commerce et d'Industrie propose ainsi régulièrement des séminaires de communication interculturelle.⁹⁴

Une fois passé le cap de la mise en place initiale d'un projet, la communication reste un élément majeur de la réussite du projet. Les acteurs de *Solarbond* ont ainsi souligné les effets positifs de rencontres régulières des groupes de recherche ainsi que l'importance d'avoir instauré un système de conférences téléphoniques hebdomadaires. Ces échanges ont permis d'établir des rapports de collégialité entre partenaires et de fluidifier le transfert d'informations. Il est enfin à noter que la connaissance de la langue du partenaire ne semble jouer qu'un rôle secondaire. C'est là une spécificité du monde de la recherche, où les échanges internationaux tiennent une place centrale. On peut alors s'appuyer sur une connaissance solide de l'anglais à l'écrit comme à l'oral de la part des chercheurs.

Esprit d'ouverture : Il convient enfin de noter que les mesures pratiques envisagées pour pallier aux différences culturelles ne sont que des outils mis à disposition des partenaires et ne sauraient se substituer à une véritable volonté de collaborer et à une ouverture d'esprit vis-à-vis de l'autre.

4.2.2 ...au niveau institutionnel

Les synergies naturelles : Les évaluateurs du P2IC avaient relevé un nombre important de candidatures soumises dans une logique financière et non pas dans le but d'établir de nouveaux partenariats stratégiques.⁹⁵ En l'occurrence les projets présentés n'étaient pas nécessairement basés sur des synergies réelles entre partenaires. Les perspectives de pérennisation des échanges et les retombées concrètes des projets s'en ressentaient. Dans ce cas de figure, la coopération reste limitée à la mise en commun ponctuelle de savoir-faire et ne vise pas à l'établissement d'un partenariat durable. On peut y voir le signe que la collaboration scientifique internationale n'est pas toujours vue par les équipes dirigeantes des organismes de recherche comme un élément stratégique sur le long terme. Les organisateurs du P2IC s'étaient ainsi vus forcés à imposer une limite au nombre

⁹⁴ < Intensive kaufmännische und interkulturelle Fortbildung >, *Deutsch-Französische Industrie- und Handelskammer*, <https://www.francoallemand.com/dienstleistungen/aus-und-weiterbildung/intensive-kaufmaennische-fortbildung/> [accessed 6 September 2018].

⁹⁵ Tippmann and Buoncuore.

de candidatures par organisme. Cette mesure avait permis de réduire les candidatures aux consortiums les plus prometteurs.

A l'inverse, le projet *Solarbond* constitue un modèle de partenariat basé sur un intérêt mutuel à collaborer et aboutissant à un partenariat durable. La mutualisation productive des savoir-faire entre acteurs de *Solarbond* a pu être engagée grâce au PICF et a pu être pérennisé à travers le *Virtual Lab*. Ce succès indique que l'objectif stratégique du PICF d'établissement de nouveaux partenariats stratégiques est conditionné par les synergies naturelles préexistantes entre partenaires potentiels. Ce constat implique un travail préalable de repérage de partenaires et nécessite une étude des potentielles convergences d'intérêts. Dans cette perspective, l'entretien de réseaux scientifiques franco-allemands à travers des événements tels que les *forum franco-allemand de coopération en matière de recherche* et des conférences telles que les *Rendez-vous Carnot* peuvent jouer un rôle déterminant.

Des procédures communes : Les leçons du P2IC quant à la nécessité de mettre en place des procédures harmonisées ont pu être mises à profit dans le cadre du PICF. A partir des retours d'expériences successifs depuis le P2IC, un travail itératif conjoint des porteurs de projet a conduit au développement d'une procédure commune unique (cf. II.3.a)).⁹⁶ Cet élément a été vécu comme un allègement notable des procédures administratives par les acteurs des projets.⁹⁷ De plus, la synchronicité des étapes, notamment les retours simultanés et coordonnés, ont été perçus comme des vecteurs importants de sécurité, permettant une meilleure visibilité aux partenaires français et allemands quant au futur du projet. On peut en conclure que l'expérience démarrée en 2005 avec le P2IC a conduit au développement d'un outil efficace de soutien à la coopération franco-allemande en matière de R&D appliquée. La maturation des procédures du programme PICF permet leur redéploiement ultérieur et constitue une base solide sur laquelle construire la future coopération scientifique franco-allemande.

Rôle actif des porteurs de projet : Les acteurs du PICF ont également relevé le travail préparatoire important et le rôle actif des porteurs de projet. Ceux-ci n'ont pas

⁹⁶ Ibid.

⁹⁷ Dimroth, « Project-Specific Public Funding Strategies Necessary for Research Cooperation from Prototypes up to Market Introduction ».

été simplement perçus comme des évaluateurs, mais comme des soutiens actifs pendant le projet. Un exemple cité est le développement par l'ANR et le porteur de projets Fraunhofer d'un accord cadre modèle pour les consortiums (cf. II.3.a)). L'existence et la diffusion active de ce modèle a permis la signature des contrats de collaboration au plus tard trois mois après le démarrage des projets PICF. En cours de projet, les porteurs de projet se sont également distingués par leur sollicitation active des partenaires. Dans le but de valoriser des échanges prometteurs, les porteurs ont ainsi organisé des séminaires de développement stratégique des relations. L'incitation à la participation active des partenaires allemands aux *Rendez-vous Carnot* est un autre exemple concret du rôle actif pris par les porteurs afin de développer les échanges des acteurs en présence.

Questions de propriété intellectuelle : La coopération autour du développement d'une technologie nouvelle pose souvent des questions d'exploitation des résultats et de propriété intellectuelle. D'une part, les partenaires souhaitent protéger des savoir-faire qui peuvent être le fruit de décennies de travail. D'autre part, il est souhaitable de se mettre d'accord au préalable sur la manière dont seront partagées les éventuelles retombées de la collaboration, notamment d'éventuels brevets. Les acteurs de *Solarbond* ont mis en avant l'importance d'avoir réglé ces détails en amont du projet, dans l'accord cadre du consortium. Cette précaution a permis de prévenir tout conflit ultérieur et a constitué un élément important dans l'établissement de liens de confiance durables entre partenaires.

Proximité géographique : Les échanges réguliers entre partenaires ont joué un rôle non négligeable dans le succès de *Solarbond* (cf. II.). Les acteurs du projet ont notamment souligné les effets bénéfiques d'une proximité géographique des organismes partenaires. En effet, la distance relativement faible de 450 km entre Grenoble (CEA-Liten) et Freiburg (ISE) a favorisé les rencontres spontanées rendues nécessaires par les aléas du projet. Dans cette optique, une région particulièrement propice à la coopération scientifique franco-allemande est la Région métropolitaine trinationale du Rhin supérieur qui rassemble de nombreux organismes de recherche et entreprises innovantes présents en Alsace et en Bade-Wurtemberg.⁹⁸

⁹⁸ Emmanuel Muller, Jean-Alain Héraud, and Knut Koschatzky, « Ways and Means of Cooperation along Evolutionary Economics in the Upper Rhine : The BETA-ISI Link », in *Strategies for*

Équipement des partenaires : Le développement d'innovations technologiques dans le domaine de la R&D énergétique requiert des équipements représentant des investissements importants. Les partenaires de *Solarbond* ont ainsi estimé la valeur des équipements mis en commun pour le projet à hauteur de 50 m^{ns} d'euros.⁹⁹ Il apparaît que le million d'euros issu du PICF n'aurait pas permis des investissements matériels de cet ordre s'il avait fallu combler des lacunes matérielles. Dans le cadre de financements de l'ordre de ceux du PICF, des projets en matière de R&D énergétique requièrent donc une structure financière solide et un bon équipement préalable de la part des potentiels futurs partenaires.

Place des projets bilatéraux : Les partenaires réunis par le PICF, ont constaté des avantages importants du programme bilatéral par rapport aux programmes européens. En effet, le cahier des charges des appels européens inclut la nécessité de constituer un consortium composé de partenaires issus d'au moins trois pays distincts de l'Union Européenne. A l'inverse, le PICF a permis la constitution de consortiums réduits aux partenaires franco-allemands présentant des synergies naturelles.¹⁰⁰ Les programmes bilatéraux comme le PICF occupent donc un espace complémentaire entre les projets européens et les programmes nationaux. Ils permettent ainsi d'exploiter avec un grand degré d'efficacité les synergies entre les acteurs français et allemands de la R&D énergétique.

Synergie Humboldt/Condorcet : Les différences entre le système universitaire français, inspiré de Condorcet et le système allemand inspiré de Humboldt, évoquées en III.1.b), peuvent également constituer un facteur de réussite important des projets franco-allemands. En effet les acteurs du PICF ont noté que le socle théorique solide des étudiants français s'avère complémentaire par rapport à l'expérience appliquée de leurs homologues allemands. Il s'agit alors de réussir à valoriser ces complémentarités à travers des programmes d'échange de jeunes chercheurs, intégrés aux projets.¹⁰¹

Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 137–42.

⁹⁹ Dimroth, « Project-Specific Public Funding Strategies Necessary for Research Cooperation from Prototypes up to Market Introduction ».

¹⁰⁰ Ibid.

¹⁰¹ Jean-Marc Jeltsch, « Fate of Technology Transfer in France : The Case of the University of Strasbourg », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 41–47.

4.2.3 ...au niveau politique

Soutien politique initial : Le PICF a bénéficié dès son origine d'un soutien politique fort au plus haut niveau en France et en Allemagne (cf. II.3.a)). La signature rapide du MoU entre le BMBF et le MESRI a été comprise comme un signal politique fort, traduisant une véritable volonté de développer la coopération scientifique franco-allemande. Cette dynamique bilatérale a pu se traduire par des évènements réussis comme le séminaire de lancement officiel à Paris le 27 octobre 2009 au Collège des Bernardins.¹⁰² Les ministères étaient alors représentés par le secrétaire d'état à la Recherche Frieder Meyer-Krahmer (BMBF) et le Directeur général de la Recherche et de l'Innovation Ronan Stéphan (MESRI). La présence de ces haut-fonctionnaires a été perçue comme un gage de l'importance accordée au PICF. En outre, la continuité affichée entre le P2IC et le PICF, par exemple dans le discours de Ronan Stéphan,¹⁰³ a montré aux potentiels futurs partenaires, que les ministères et porteurs de projet comptaient bien intégrer les leçons du P2IC dans l'élaboration du PICF. Cette effort inscrit dans la continuité et la communication réussie autour de la volonté politique bilatérale a ainsi permis de créer une base de confiance solide lors de la phase de démarrage du PICF. L'engagement des acteurs politiques a incité les acteurs de la R&D à s'investir dans la recherche de nouveaux partenariats.

Convergence des objectifs énergétiques et climatiques : Les objectifs stratégiques compatibles en matière d'énergie et de protection du climat font de la R&D énergétique un terrain propice à la coopération franco-allemande. Les deux pays font en effet face à des défis technologiques semblables dans le contexte de la transition énergétique (stockage énergétique, réduction des émissions, transport défossilisé, etc.). Il en découle que les programmes publics français et allemands de soutien à la R&D énergétique affichent des priorités thématiques qui se recoupent en partie (cf. I.2.). Cette compatibilité des politiques de soutien et les synergies naturelles existant entre les acteurs de l'innovation énergétique français et allemands créent une base solide pour des projets communs.

¹⁰² « Colloque PICF 2009 », ANR, <http://www.agence-nationale-recherche.fr/informations/l-actu-en-video/colloque-picf-2009/> [accessed 24 September 2018].

¹⁰³ Ronan Stéphan, *Programme Carnot-Fraunhofer PICF, Discours de Ronan Stéphan (MESRI, 27 October 2009)*, http://www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/user_upload/documents/uploaded/videos/PICF-octobre-2009/PICF2009-MESRI.pdf [accessed 12 November 2018].

Dans les faits, des programmes comme le P2IC et le PICF témoignent déjà d'une volonté politique de développer le potentiel important de la coopération scientifique franco-allemande. Récemment, la déclaration d'intention commune du 6^e forum de la coopération franco-allemande en recherche du 19 juin 2018 remet l'accent sur cette volonté de développer les synergies existantes, notamment dans le domaine de la R&D énergétique.¹⁰⁴ Dans ce contexte, des programmes comme le PICF constituent des réservoirs d'expériences et des modèles d'outils appropriés au développement des synergies franco-allemandes.

Leadership européen dans le domaine des NTE : Dans un contexte de concurrence mondiale croissante sur le terrain des technologies innovantes, l'Union européenne doit faire face au défi de garantir l'avenir des industries européennes. Un évènement marquant de cette nouvelle situation a été la crise de l'industrie photovoltaïque européenne dans les années 2010. En effet, cette crise a été largement provoquée par l'émergence d'une concurrence chinoise développée en moins de dix ans, grâce à un programme de soutien public chinois ambitieux.¹⁰⁵ La décision de Soitec de se désengager du consortium issu de *Solarbond* est à replacer dans ce contexte de pression concurrentielle de la part des producteurs chinois. Cette crise a fait apparaître l'importance d'une coordination plus importante du soutien à l'innovation en Europe, face à une concurrence internationale arrivée sur le marché des technologies de pointe, notamment dans le domaine des NTE.¹⁰⁶ Afin de rester concurrentielle, l'industrie européenne ne peut plus se reposer sur ses savoir-faire nationaux. Jean Therme, l'ancien directeur du centre CEA de Grenoble note dans ce contexte de concurrence mondiale autour des NTE :¹⁰⁷

[...] un couplage étroit de la recherche technologique à une recherche plus fondamentale est essentiel si l'on veut parvenir à des ruptures technologiques conduisant à la

¹⁰⁴ *Déclaration d'intention Commune à l'occasion Du 6e Forum de La Coopération Franco-Allemande En Recherche*. (MESRI, BMBF, 2018), https://www.bmbf.de/files/V9%20FR%20-%20FRA%20BMBF%20Forschung%20und%20Innovation%202018-06-13%20Gemeinsame%20Erkl%C3%A4rung_FRA%20V9_FR-PRINT.pdf [accessed 12 November 2018].

¹⁰⁵ Zeting Liu, « Performances et limites de la politique industrielle et de l'innovation chinoises dans le secteur énergétique : le cas des industries photovoltaïque et éolienne », *Marché et organisations*, 2014, 57–84, <https://doi.org/10.3917/maorg.021.0057>.

¹⁰⁶ Holger Paul, « Branche in der Krise : Auf die Solarindustrie fällt der nächste Schatten », *FAZ.NET*, section Wirtschaft, <http://www.faz.net/1.3196987> [accessed 24 September 2018].

¹⁰⁷ Therme.

prise de brevets de base, souvent déterminants dans la maîtrise de nouvelles filières industrielles.

Or l'analyse de *Solarbond* montre que le PICF a justement permis la mise en place d'un consortium conduisant à une innovation de rupture dans le domaine du photovoltaïque en valorisant une synergie naturelle préexistante entre partenaires français et allemands. On peut en déduire que des programmes bilatéraux comme le PICF peuvent jouer un rôle important dans la dynamisation de la R&D européenne. Ils ont l'avantage de pouvoir être employés de manière ciblée pour développer des synergies intra-européennes qui garantiront la place de l'Europe à la pointe de l'innovation dans les NTE.

4.3 Pistes d'action

Favoriser les rencontres : Il s'agit de permettre aux futurs partenaires de se rencontrer et d'échanger pour identifier les synergies possibles. Les chercheurs se rencontrent bien sûr dans le cadre de conférences internationales. Néanmoins, du fait justement des complémentarités recherchées, qui se basent sur des savoir-faire distincts, les potentiels futurs partenaires ne seront pas nécessairement présents aux mêmes conférences spécialisées. Il s'agit donc d'assurer la tenue d'évènements réguliers, axés sur des thématiques ciblées et identifiées comme stratégiques. Dans le cadre du PICF, la participation des instituts Fraunhofer aux *Rendez-vous Carnot* allait dans ce sens. Ces évènements devront servir de **plateformes de rencontre** aux **acteurs français et allemands de la R&D énergétique**. Dans cette optique, le BMBF et le MESRI ont par exemple organisé le 22 octobre 2018 une conférence franco-allemande sur les technologies de l'énergie liées à l'hydrogène.¹⁰⁸ De tels évènements ciblés d'un point de vue thématique pourront jouer un rôle important dans l'identification de partenariats franco-allemands prometteurs.

Prise en compte de la dimension interculturelle : L'analyse du PICF a montré le rôle important de la dimension interculturelle dans la conduite de projets franco-allemands. Qu'ils s'agissent des codes de communication ou bien des rapports

¹⁰⁸ « Conférence Franco-Allemande sur l'Hydrogène – Horizon 2020 ».

hiérarchiques, nombre de différences persistent entre partenaires français et allemands. Le projet *Solarbond* a pu bénéficier du fait que les partenaires se connaissaient déjà. En revanche, des partenariats entièrement nouveaux ne pourront pas s'appuyer sur un réservoir d'expériences préalables. Bien que la dimension interculturelle ne semble pas être un obstacle majeur à la collaboration de chercheurs rompus aux projets internationaux, sa prise en compte peut contribuer de manière significative à la mise en place et à la conduite des projets.

Dans le cadre du PICF, les partenaires ont pu bénéficier du soutien actif des porteurs de projet. Dans un autre contexte, le Centre de Coopération Universitaire Franco-Bavarois (BFHZ), cofinancé par la France et l'Allemagne, propose des activités de conseil aux individus impliqués dans des projets franco-allemands.¹⁰⁹ **L'intégration d'offres de formation à la collaboration scientifique interculturelle dans la phase initiale de projets franco-allemands** permettrait une préparation au niveau individuel dans l'identification des défis interculturels spécifiques à la coopération franco-allemande. Ces offres pourraient être intégrées systématiquement aux programmes franco-allemands comme le PICF ou encore centralisées auprès de structures comme l'Office franco-allemand pour la transition énergétique (OFATE), dont l'une des missions est justement de faciliter les échanges entre les acteurs français et allemands de la transition énergétique.¹¹⁰

Des procédures harmonisées : L'expérience a montré que la simple ouverture de programmes nationaux aux partenariats internationaux ou le lancement de deux appels parallèles comme dans le cadre du P2IC se révélaient souvent insuffisante (cf. II.2.). En effet, un projet collaboratif à forte teneur innovante requiert une coordination étroite en partenaires, qui se traduit par des échanges fréquents et la mise en commun de moyens et de résultats. Cette concertation devient difficile si les partenaires sont soumis à des procédures administratives, voire même des calendriers de financement disjoints. On aboutit alors en réalité à l'existence de deux projets nationaux parallèles, qui n'assure pas une exploi-

¹⁰⁹ Axel Honsdorf, « Experiences Form a Regionally Oriented Support Agency : The Bavarian-French University Centre (BFHZ) », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 129–36.

¹¹⁰ « L'office Franco-Allemand Pour La Transition Énergétique – Nos Missions et Activités », 2018, <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewjxrpKxkNbdA> [accessed 12 November 2018].

tation optimale des synergies franco-allemandes.¹¹¹ Le PICF a intégré les leçons des premières expériences bilatérales en développant un modèle basé sur de procédures largement harmonisées. Il apparaît que le développement d'un outil de soutien bilatéral doit se baser sur un processus itératif d'apprentissage, dont le PICF ne marque qu'une étape. Un élément important du succès de la coopération franco-allemande en matière de R&D appliquée sera donc **la reprise du modèle PICF** afin de continuer à le développer dans le cadre de nouveaux appels. Le but devrait être d'aboutir à terme, à un modèle de **programme bilatéral redéployable**, basé sur des procédures entièrement harmonisées. Ceci implique de la part des ministères et des porteurs de projets français et allemands, d'accepter de s'éloigner des procédures administratives nationales afin de développer ensemble un modèle innovant, dédié à la coopération bilatérale. Les bonnes pratiques développées dans le cadre franco-allemand pourront également servir de base à de nouveaux schémas de coopération bilatérale avec d'autres pays européens.

Identification des synergies franco-allemande en R&D énergétique : Le nombre limité de projets PICF dans le domaine des NTE avait amené en III.1.b) l'idée que dans ce domaine un ciblage thématique plus précis des programmes franco-allemands pourrait s'avérer bénéfique. En effet, le développement de la R&D énergétique franco-allemande ne peut s'appuyer uniquement sur des partenariats préexistants comme dans *Solarbond*, si le but est de valoriser des potentiels jusque-là inexploités. L'urgence de l'action innovante dans le domaine énergétique requiert un mécanisme de ciblage précis des domaines porteurs de synergies naturelles. Ce travail d'identification permettrait d'augmenter l'efficacité de l'action publique bilatérale en proposant des programmes de soutien axés sur des potentiels exploitables. Dans cette optique, les académies des sciences et techniques françaises et allemandes ont récemment proposé dans une déclaration commune la **création d'un comité scientifique consultatif dans le domaine de la transition énergétique**.¹¹² Le rôle de ce comité serait d'identifier les

¹¹¹ Rainer Wansch, « Specific Challenges of Complex Bilateral Research Consortia : Cooperation Experiences in the P2IC Programme », in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 87–92 ; Rösch and Altendorf.

¹¹² *Joint Statement on the Energy Transition in France and Germany | Advice Notes and Reports | Performing the Role of an Expert and Advisor* (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Académie des Sciences, Aca-

domaines d'intérêts communs où un renforcement des échanges scientifiques franco-allemands permettrait d'exploiter des synergies nouvelles. Une telle structure s'appuyant par exemple sur les académies des sciences et techniques françaises et allemandes paraît souhaitable afin de d'augmenter la portée stratégique de la coopération scientifique franco-allemande. L'implication d'entreprises européennes innovantes dans le domaine des NTE dans un tel processus de consultation serait indispensable dans le but de garantir la proximité des axes thématiques élaborés avec les besoins réels des entreprises. La mise en place de ce mécanisme constituerait une base solide pour la mise en place de programmes bilatéraux axés sur des thématiques stratégiques.

Diversification des acteurs ciblés : Les programmes de R&D appliquée comme le P2IC et le PICF se sont adressée uniquement aux instituts Fraunhofer et Carnot. Or l'analyse des paysages de recherche français et allemands a révélé d'autres acteurs d'importance stratégique de la R&D énergétique. On notera par exemple la MPG qui se positionne actuellement à la pointe de l'innovation dans le domaine de la capture et de la valorisation du CO₂ à un stade très appliqué.¹¹³ De nouveaux programmes bilatéraux dans le domaine de la R&D énergétique devront tenir compte de ces potentiels et **s'adresser à une palette de partenaires plus large**. On notera également que c'est l'ANR qui a géré tous les programmes bilatéraux côté français depuis sa création en 2005. Or l'ANR recentre ses activités sur des projets de recherche qui s'arrêtent avant la démonstration (TRL < 6). Afin de pousser l'innovation franco-allemande dans les NTE, il faudra justement prévoir des possibilités de financement de projets de démonstration, ce qui relève des compétences de l'Ademe. L'implication de l'Ademe dans la construction de programmes bilatéraux appliqués s'avère donc nécessaire.

Financements-relai : Le succès de *Solarbond* et les difficultés rencontrées suite à la fin du PICF et après le retrait du partenaire industriel ont montré l'importance de **prévoir une solution de financement-relai dans le cas de partenariats à fort potentiel**. En effet, la R&D appliquée nécessite justement un fort soutien public à mesure qu'elle s'approche de la vallée de la mort du développement technolo-

démie des Technologies, 2015), <http://www.academie-sciences.fr/en/Advice-Notes-and-Reports/joint-statement-on-the-energy-transition-in-france-and-germany.html> [accessed 13 July 2018].

¹¹³ < « Wir wollen Hüttengas in Kraftstoffe, Kunststoffe oder Dünger umwandeln » >.

gique. A ce stade, l'innovation arrive à un point critique où des investissements importants sont nécessaires aux étapes de démonstration de l'innovation. Une part de financements publics permet alors d'assurer une base de sécurité, permettant d'attirer de potentiels investisseurs privés.¹¹⁴ Dans cette optique, des possibilités de prolongation des financements d'un programme bilatéral assureraient la valorisation de partenariats particulièrement prometteurs. Ces outils devraient s'appuyer sur le modèle DFG, qui permet de déposer une demande de financement-relai avant la fin du projet, en vue d'assurer une continuité temporelle.¹¹⁵

Outils de pérennisation d'alliances stratégiques : Les partenaires du projet *Solarbond* ont fait preuve d'une grande créativité avec la constitution d'un laboratoire virtuel leur permettant de pérenniser leur collaboration, en dépit de l'absence de financements extérieurs. Une telle mise en place entre organismes de recherche de **procédures standardisées, dédiées à la mutualisation des capacités de recherche** pourrait contribuer à cimenter de manière durable la coopération scientifique franco-allemande. Il serait souhaitable de propager ces modèles de structures flexibles en communiquant sur leur succès dans le cadre d'évènements franco-allemands.

Volumes de financements : Les volumes de financements accordés au PICF ne correspondent pas aux besoins de la R&D appliquée en matière de NTE, s'il s'agit de faire de la coopération franco-allemande une équipe de choc de l'innovation européenne. C'est là un constat général pour l'investissement dans la R&D en Europe. On est loin de l'objectif de Lisbonne des 3% du PIB investis dans la R&D.¹¹⁶ Si la volonté politique affichée de faire de la coopération franco-allemande un vecteur majeur de l'innovation, **une dotation volontariste des programmes bilatéraux complémentaires au PCRD** pourra contribuer à atteindre les objectifs de Lisbonne. Il s'agit notamment d'étudier la nécessité de mettre en place des financements importants pour des projets de démonstration franco-allemands, qui ne pourraient pas être financés dans le cadre du PCRD du fait de leur caractère bilatéral.

¹¹⁴ Klossa and Guillon.

¹¹⁵ Haag.

¹¹⁶ <Statement of the Max Planck Society on the European Commission's Proposal for Horizon Europe > (MPG, 2018), https://www.mpg.de/12120388/statement_mpg_horizonteurope.pdf [accessed 12 November 2018].

Structure dédiée à la coopération franco-allemande en matière de R&D : Malgré une volonté politique initiale partagée, le PICF a révélé un manque de vision politique stratégique sur le long terme. En effet, l'objectif de mise en place d'alliances stratégiques a bien été atteint, comme l'illustre *Solarbond*. En revanche, l'absence de volonté de renouvellement côté BMBF et le budget PICF ponctionné sur les abondements Carnot par l'ANR, indiquent que les deux premiers objectifs du PICF n'ont pas été pris au sérieux. En effet, le renforcement de leadership en recherche industrielle et la préparation du transfert de technologies et de connaissances vers l'industrie requièrent un engagement plus volontariste, qui s'inscrit dans la durée. La valorisation des synergies franco-allemandes en matière de NTE ne se fera pas en un seul projet de 3 ans et doit faire l'objet d'une stratégie sur le long terme. Ce constat pose la question si une stratégie durable en matière de coopération franco-allemande dans le domaine des NTE ne requiert pas la création d'une structure de financement bilatérale et indépendante. L'Allemagne a ainsi déjà mis en place une telle structure conjointe avec un autre état. Il s'agit de la Fondation germano-israélienne pour la recherche scientifique et le développement GIF (*German-Israeli Foundation for Scientific Research and Development*), qui finance des projets germano-israéliens en développant ses propres programmes financés grâce à une dotation initiale importante.¹¹⁷ La **création d'une fondation franco-allemande** de soutien à la recherche permettrait le lancement de programmes bilatéraux, basés sur une procédure harmonisée. L'indépendance d'un tel organisme permettrait de valoriser plus facilement les leçons des programmes antérieurs, en intégrant par exemple les possibilités de financements-relai. L'orientation de ces programmes pourrait être axée sur les rapports du comité scientifique consultatif dans le domaine de la transition énergétique, proposé par les académies des sciences et des techniques.¹¹⁸ La création d'une telle structure bilatérale, permanente et indépendante permettrait de donner un cadre stable au soutien à la coopération de recherche franco-allemande, à l'opposé des programmes montés ad hoc. Ce serait un signal fort envoyé aux acteurs franco-allemands de la R&D énergétique et permettrait d'apporter un soutien durable à l'innovation conjointe dans le domaine des NTE.

¹¹⁷ BMBF-Internetredaktion, « Israel – BMBF », *Bundesministerium für Bildung und Forschung – BMBF*, <https://www.bmbf.de/de/israel-297.html> [accessed 5 October 2018].

¹¹⁸ *Joint Statement on the Energy Transition in France and Germany | Advice Notes and Reports | Performing the Role of an Expert and Advisor*.

Un défi important d'une telle structure serait néanmoins l'absence de recouplements avec des initiatives déjà en cours. Ainsi, le président Macron avait proposé dès 2017 la création d'une agence européenne basée sur le modèle de l'agence américaine DARPA, qui finance des projets de R&D destinés à un usage militaire. Cette agence devrait être chargée d'investir le capital-risque nécessaire à des projets d'innovations de ruptures fortement orientés sur les besoins des entreprises. L'initiative a été lancée en 2018 sous le nom de *Joint European Disruptive Initiative* (JEDI).¹¹⁹ D'abord un projet franco-allemand, elle cherche à fédérer le soutien de l'ensemble des pays européens. Il est trop tôt pour tirer un bilan de JEDI, notamment quant à la question de savoir si cette initiative se recoupe avec les projets de Conseil européen de l'innovation (European innovation council, EIC).¹²⁰ L'EIC doit en effet regrouper dans le cadre du PCRD les outils de financement de projets d'innovation de rupture proches du marché à partir de 2021. Il semble que l'idée de structures adaptées aux défis européens en matière d'innovation fait son chemin. Reste à savoir si le tandem franco-allemand trouvera un cadre adapté au développement de son potentiel de pionnier en matière d'innovation énergétique.

¹¹⁹ Daniela Vincenti, « Return of the JEDI : European Disruptive Technology Initiative Ready to Launch », *Euractiv.Com*, 2018, <https://www.euractiv.com/section/economy-jobs/news/return-of-the-jedi-european-disruptive-technology-initiative-ready-to-launch/> [accessed 11 July 2018].

¹²⁰ « European Innovation Council (EIC) – EU-Büro Des BMBF », <https://www.eubuero.de/fet-eic.htm> [accessed 5 October 2018].

5 Conclusion

Les intérêts stratégiques convergents de la France et de l'Allemagne en matière de transition énergétique, ainsi que la compétition internationale autour de l'innovation dans le domaine des NTE, sont autant d'arguments en faveur d'une coopération bilatérale renforcée en matière de R&D énergétique. Au terme d'évolutions historiques et culturelles distinctes, la France et l'Allemagne possèdent à ce jour des paysages de R&D énergétique fortement complémentaires. Cette situation fait apparaître l'intérêt d'une mutualisation des moyens en se basant sur les synergies naturelles qui existent entre acteurs français et allemands de la R&D énergétique.

La compétition mondiale autour de l'innovation technologique a vu émerger d'abord en Allemagne, puis en France une gouvernance publique du soutien à la R&D orientée vers la diffusion de savoir et la mise en place des conditions nécessaires à une innovation compétitive sur un plan international. Dans ce contexte, des programmes de R&D bilatéraux constituent une option intéressante dans le but de valoriser les synergies inexploitées. Ces outils permettent en effet de donner un cadre financier incitatif pour la formation de nouveaux partenariats. En même temps, les systèmes d'appels à projets permettent de créer un environnement compétitif qui fera ressortir les partenariats les plus prometteurs.

Dans un contexte européen, ces programmes bilatéraux doivent se positionner de manière complémentaire par rapport aux fonds importants déjà disponibles dans le cadre du PCRD. Or, les acteurs de la R&D qui ont participé au programme bilatéral PICF ont souligné l'avantage majeur qu'a constitué à leurs yeux la possibilité de former un consortium de partenaires restreints. Dans le contexte de la R&D énergétique, il apparaît que des programmes bilatéraux puissent ainsi se positionner comme des outils efficaces pour valoriser rapidement des synergies

franco-allemandes regroupant des équipes de choc restreintes autour de thématiques précises.

L'analyse de la réflexion conjointe menée depuis les années 2000 sur les outils au service d'un renforcement de la coopération franco-allemande en matière de recherche, a montré que le PICF est le fruit d'un processus itératif d'ajustements et d'adaptation, reposant souvent sur l'ouverture et la volonté de compromis des acteurs publics. Le développement d'une procédure harmonisée constitue une avancée majeure, relevée comme un facteur de transparence et de sécurité important par les partenaires des projets PICF. La procédure PICF pourra servir de modèle aux futurs programmes franco-allemands. En termes de renforcement de partenariats stratégiques, le PICF a certainement atteint ses objectifs. Le projet PICF *Solarbond* entre le CEA-Leti et le FhG-ISE a ainsi parfaitement illustré la concrétisation d'un partenariat basé sur des compétences et des savoir-faire complémentaires.

Néanmoins, l'exemple de *Solarbond* a également fait apparaître certaines limitations du PICF dans le domaine de la R&D énergétique appliquée. En effet, la création d'un impact réel dans le domaine des NTE à travers une innovation de rupture implique un transfert technologique réussi vers l'industrie. Un défi majeur consiste à passer la vallée de la mort du développement technologique lorsque le projet arrive à une phase préindustrielle. Les financements importants requis dans cette phase peuvent être assurés par un partenaire industriel intéressé par le potentiel de l'innovation produite. Néanmoins, une telle solution expose le consortium aux aléas des réorientations de marché parfois abruptes des entreprises. Le transfert technologique interrompu au sein de *Solarbond* a montré que les programmes bilatéraux devront intégrer la possibilité d'un financement-relai pour les projets aboutissant à une preuve de concept convaincante. Ce relai permettrait de sécuriser la phase critique de démonstration, où un éventuel investisseur privé doit encore être séduit par l'innovation produite. La mise en place de financements-relai traduirait dans les faits la volonté affichée par les pouvoirs publics, de renforcer la position européenne de champion de l'innovation dans les NTE en soutenant efficacement le transfert technologique vers l'industrie.

En outre, le financement d'étapes de démonstration apparaît comme une nécessité particulièrement pressante dans le domaine de la R&D énergétique.

Le BMBF semble avoir reconnu l'urgence de tester les options technologiques innovantes afin d'assurer des avancées rapides. Cette volonté s'affiche dans le cadre du financement de projets nationaux comme *Carbon2Chem*. Dans le cadre de programmes bilatéraux dédiés aux NTE, il apparaît donc important d'élargir le spectre visé au-delà du niveau TRL 5 en incluant les étapes de démonstration ($TRL \geq 6$). Une telle évolution nécessiterait côté français l'implication de l'Ademe dans la mise en place et la supervision du programme bilatéral. Cette extension du spectre visé requiert évidemment des fonds importants. Le budget d'un projet de démonstration peut s'élever à plusieurs dizaines de millions d'euros. On augmente donc d'un ordre le volume de financements publics d'un tel programme. Néanmoins, face aux nombreux facteurs d'urgence (leadership technologique, aspects environnementaux), une politique franco-allemande ambitieuse est de mise dans le domaine des NTE.

Il est également à noter, que malgré l'absence de financement-relai, les partenaires du CEA et de la FhG ont réussi à pérenniser la mutualisation de leurs moyens de recherche en développant un modèle innovant de laboratoire virtuel. De telles structures permettent de faire vivre les liens de coopération établis dans le cadre d'un programme bilatéral au-delà du projet. Afin de pérenniser les efforts fournis par tous les acteurs dans le cadre d'un programme bilatéral, de telles solutions devraient recevoir une publicité active afin de préparer l'après-projet.

Un autre défi important de la R&D énergétique franco-allemande est la valorisation de synergies inexploitées. Or le nombre restreint de projets PICF dans ce domaine a montré que des partenariats entièrement nouveaux pouvaient difficilement être incités par un programme thématiquement ouvert. En l'absence de contacts préexistant entre partenaires potentiels, il s'agira d'identifier les thématiques porteuses et d'en faire les axes des futurs appels à projet franco-allemands. Cette stratégie incitera les acteurs de la R&D énergétique à se lancer dans une recherche plus ciblée de partenaires autour d'un sujet précis. Afin de garantir la pertinence des sujets choisis, une condition importante est d'en laisser l'identification à un comité consultatif franco-allemand indépendant. En ce sens on notera la proposition récente des académies des sciences et des techniques françaises et allemandes de former la base d'un tel comité. L'expertise et l'analyse des scientifiques devront être complétées par des représentants des

industries concernées, afin de garantir une proximité avec les besoins et les défis réels du marché des NTE.

Une ultime idée ambitieuse qui est apparu récemment sous diverses formes, serait la création d'une fondation franco-allemande chargée du soutien à l'innovation dans le domaine des NTE, à l'image de la GIF germano-israélienne. Une telle institution, qui s'appuierait sur les recommandations du comité consultatif, aurait l'avantage de pouvoir mettre en place une procédure d'appels à projet dispensée des habitudes de travail des agences nationales. En outre, en puisant sur ses fonds propres, elle ne serait pas soumise aux aléas des politiques nationales et pourrait constituer un outil puissant du renforcement de la coopération franco-allemande en matière de R&D énergétique.

Qu'une telle institution indépendante de soutien à la recherche soit finalement réalisée sous la forme du projet JEDI ou bien en tant qu'organisme européen tel le EIC reste à voir. Néanmoins on peut retenir que la coopération franco-allemande en R&D a dépassé le stade des échanges de chercheurs et de la construction de grands instruments de recherche. Il s'agit à présent de développer ensemble les outils nécessaires à la conduite de projets bilatéraux ambitieux. Les NTE constituent un domaine de choix où le partenariat franco-allemand peut s'appuyer sur un potentiel fort, basé sur des synergies importantes, face à un besoin réel et pressant. En continuant à développer leur réflexion commune en se basant sur les leçons du programme PICF, la France et l'Allemagne pourraient se positionner comme un tandem de choc de l'innovation de rupture dans le domaine des NTE. Une telle approche pourra servir de modèle à l'innovation de rupture basée sur la valorisation des synergies intra-européennes.

6 Annexes

6.1 Annexe A : Aspects historiques de la R&D énergétique depuis 1945

6.1.1 France

Sur le plan des énergies fossiles, le territoire français ne recèle que des ressources limitées. Les risques stratégiques liés à cette situation sont apparus dès la Première Guerre mondiale avec l'occupation allemande des bassins houillers du Nord-Pas-de-Calais et une dépendance quasi-totale des importations anglo-saxonnes de pétrole. Dans l'entre-deux-guerres, la France se retrouve même au premier rang mondial des pays importateurs de charbon, signe clair de sa dépendance énergétique.¹²¹ A cela va s'ajouter une part croissante d'importations d'hydrocarbures en provenance du Moyen-Orient. A l'issue de la Seconde Guerre mondiale, un consensus s'installe quant au lien étroit entre l'indépendance énergétique de la France et sa souveraineté nationale. A partir de 1944, l'état, par le biais du ministère à la Production industrielle (futur ministère de l'Industrie), prend la mainmise sur le secteur énergétique à travers une vague de nationalisations dans les secteurs du charbon, de l'électricité et du gaz, ainsi que la création de sociétés pétrolières publiques. Cette époque est marquée par la volonté d'individus qui veulent assurer à la France son *rang* de grande puissance mondiale. Dans la tradition colbertiste, les hauts-fonctionnaires issus des Grands Corps techniques (Corps des Mines, Corps des Ponts, etc.) joueront

¹²¹ Alain Beltran, « La Politique Énergétique de La France Au XXe Siècle : Une Construction Historique. », *Annales Des Mines*, 1998, 6–10.

ainsi un rôle crucial dans la création d'Elf-Aquitaine et dans son positionnement comme entreprise pétrolière de rang mondial.¹²²

A côté de la domination de l'état dans les secteurs énergétiques existants, une deuxième stratégie s'impose : le développement des capacités d'innovation françaises dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie. Certaines structures existaient déjà : le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), créé le 19 octobre 1939, ainsi que l'Institut français du pétrole (IFP), créé en 1919. Alors que le CNRS va se recentrer sur la recherche fondamentale après 1945, l'IFP se consacre principalement aux domaines pétroliers et gaziers. Reste donc à créer une structure à la hauteur du défi de l'énergie nucléaire, nouvellement découverte. Dans cette perspective, le général de Gaulle, alors président du gouvernement provisoire de la République française créée par l'ordonnance du 18 octobre 1945 le Commissariat à l'énergie atomique (CEA).¹²³ La tâche de ce nouvel organisme de recherche scientifique et technologique, sera le développement des capacités françaises en vue de l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins civiles, mais aussi militaires. A l'ambition de souveraineté énergétique s'ajoute en effet la compétition géopolitique internationale, dans le contexte des avancées technologiques américaines dans le domaine du nucléaire civil et militaire.¹²⁴ Le CEA sera créé comme *établissement à caractère scientifique technique et industriel* (après 1958 *établissement à caractère industriel et commercial*, EPIC) avec un statut de personne morale de droit public et une certaine autonomie administrative et financière.¹²⁵ Le CEA est néanmoins placé sous l'autorité directe du président du Conseil sous la IV^e République, puis en 1969 sous la tutelle du ministre du développement industriel et scientifique.¹²⁶ Après une phase exploratoire initiale, le CEA sera chargé du développement d'une filière électronucléaire civile française et de ses débouchés militaires. Le CEA est assisté dans sa tâche par Electricité de France (EDF), entreprise créée en 1946 suite à la nationalisation du secteur énergétique.

¹²² Beltran, « La Politique Énergétique de La France Au XXe Siècle : Une Construction Historique. »

¹²³ CEA, « L'histoire de la création du CEA », *CEA/CEA*, 2017, <http://www.cea.fr/Pages%2flea-cea%2fhistoire-creation-CEA.aspx> [accessed 8 March 2018].

¹²⁴ Aline Coutrot, « La Création Du Commissariat à l'énergie Atomique », 31.2 (1981), 343–71.

¹²⁵ Coutrot.

¹²⁶ Bruno Barrillot, « Le CEA, Combien de Divisions ? », *Damoclès*, 1995.

La stratégie suivie est alors celle d'une exploration des options technologiques envisageables, suivie de la construction d'installations expérimentales par le CEA et EDF. Une première centrale reposant sur la technologie nationale uranium naturel-graphite-gaz (UNGG) sera ainsi construite par le CEA à Marcoule en 1956. Cette organisation de la recherche énergétique française s'inscrit dans la logique des *grands programmes*, portés d'une part par les grands groupes industriels français comme EDF (les *champions nationaux*) et d'autre part par des établissements publics tel que le CEA, qui opèrent dans un esprit de *mission*.

En matière d'énergie, l'organisation des *grands programmes* et l'orientation des politiques publiques sous-jacentes sont marquées par l'influence d'un cercle restreint d'experts, notamment des ingénieurs polytechniciens du Corps des Mines (X-Mines) et du corps des Ponts (X-Ponts) en poste au ministère de l'Industrie et au Commissariat général du Plan.¹²⁷ Ces hauts-fonctionnaires sont réunis depuis 1955 avec les experts du CEA, d'EDF et d'autres industries concernées par le nucléaire au sein de la *Commission consultative pour la production d'électricité d'origine nucléaire* (dite commission PEON). Celle-ci élabore les orientations stratégiques majeures du soutien public, qui se retrouvent notamment dans le budget du CEA et le *Plan quinquennal de développement de l'énergie atomique*.

C'est dans ce contexte qu'en 1956 la crise du Canal de Suez vient rappeler à la France sa dépendance au pétrole en provenance du Moyen-Orient. Cet événement achève de convaincre les dirigeants français de la pertinence d'une filière électronucléaire nationale. Ainsi en 1961, deux X-Mines siégeant à la Commission de l'énergie du Commissariat général du Plan traduiront l'esprit de l'époque en écrivant : « A plus long terme, l'atome apparaît comme l'énergie vraiment capable de libérer progressivement l'Europe de sa dépendance à l'égard des approvisionnements lointains, coûteux, incertains même. »¹²⁸ La recherche liée à l'énergie atomique devient alors l'objet de toutes les attentions. Entre 1953 et 1957, les effectifs du CEA sont ainsi multipliés par cinq, alors que son budget civil passe de 1.0 à 8.4 mrds de francs nouveaux.¹²⁹ Cet effort financier traduit également les ambitions stratégiques militaires, toujours présentes en

¹²⁷ Beltran, « La Politique Énergétique de La France Au XXe Siècle : Une Construction Historique. »

¹²⁸ Louis Saulgeot and Lucien Gouni, « Les Programmes Énergétiques Français », *La Jaune et La Rouge*, Numéro spécial (1961), 18.

¹²⁹ Barrillot.

toile de fond. Néanmoins, c'est surtout le signe d'une foi inébranlable dans le progrès par l'atome qui émane des personnalités associées au projet, dans l'esprit de F. Joliot-Curie, premier Haut-Commissaire du CEA, qui déclare en 1946 à propos de l'énergie nucléaire : « En 2015, la France n'aura pas d'autre source d'énergie. »¹³⁰

En parallèle des efforts nationaux, une première ouverture internationale de la R&D énergétique française s'opère avec la création de la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom) en 1958. Euratom permettra l'exploration de filières nucléaires alternatives à la filière UNGG et indépendantes des considérations militaires. Passée cette première phase exploratoire de la R&D énergétique française, les années 60 seront marquées par un débat intense sur l'option technologique à retenir pour le développement d'un parc électronucléaire national. Cette *guerre des filières* sera marquée d'une part par la recherche d'une prouesse technologique nationale (filière UNGG) et d'autre part par une logique d'optimisation du rendement social avec une recherche de réduction des coûts. Avec l'entrée du ministère des Finances à la commission PEON en 1967, c'est la logique économique qui l'emportera avec le choix en 1969 de la filière à uranium enrichi et eau légère. Cette option sous licence américaine est alors jugée seule à même de répondre aux exigences commerciales du développement d'un nucléaire civil à échelle industrielle.¹³¹

Malgré l'ambition affichée alors par les grands programmes énergétiques successifs, au début des années 70 la France importe toujours près des trois quarts de ses besoins énergétiques.¹³² Cette situation paradoxale est notamment due au développement de l'automobile et au déclin du charbon français. Suite au premier choc pétrolier de 1973, l'état français mobilise alors des moyens importants afin de se recentrer sur l'objectif de souveraineté énergétique nationale prôné depuis la Libération. Cette stratégie d'autonomie énergétique se traduira par un programme national massif pour le développement de la filière électronucléaire nationale, présenté début 1974 par le Premier ministre Pierre Messmer. Le plan

¹³⁰ Coutrot.

¹³¹ Claire Le Renard, « Les débuts du programme électronucléaire français (1945–1974) : de l'exploratoire à l'industriel », *Hérodote*, 2017, 53–66, <https://doi.org/10.3917/her.165.0053>.

¹³² Alain Beltran, « La France et Sa Politique de l'énergie (Des Années 1970 à Aujourd'hui) », in *La Transition Énergétique. Un Défi Franco-Allemand et Européen* (CIRAC, 2017), pp. 17–25.

Messmer prévoit alors un rythme accéléré de développement du parc électronucléaire français et achève de mettre celui-ci sur la voie industrielle.

Les 30 années de R&D énergétique depuis la Libération auront mené au lancement d'une filière électronucléaire nationale compétitive. Néanmoins, le processus décisionnel ayant mené aux choix énergétiques français est marquée par une implication parlementaire faible. Celle-ci se limite à la validation des grandes lignes. En particulier l'avènement de la V^e République marque une limitation notable de l'influence des parlementaires sur les questions énergétiques. La Constitution de 1958 définit ainsi l'énergie et la recherche qui s'y rattache comme un domaine à caractère réglementaire, du ressort de l'exécutif.¹³³ Le rôle du parlement se limitera donc à voter les plans quinquennaux alors que l'exécutif décide du développement de l'industrie nucléaire en s'appuyant sur le budget du CEA et le Plan quinquennal de développement de l'énergie atomique. Il est à noter que le développement du nucléaire français a longtemps fait l'objet d'un consensus entre partis politiques. La question d'un éventuel déficit démocratique ne sera ouvertement posée qu'à partir des années 90, notamment à l'occasion du débat national *Energie et environnement* qui fait suite en 1994 au Sommet de la Terre de Rio.¹³⁴

Ainsi, le développement d'une ambition énergétique nationale au service de l'intérêt général a pu se faire depuis la Libération et jusque dans les années 70 au détriment d'une diversification des options technologiques. Devant le manque d'expertises indépendantes, certains universitaires ont critiqué le monolithisme des décisions politiques en matière de R&D énergétique. La prépondérance de l'état dans le système d'innovation nationale à cette époque, aussi bien d'un point de vue de l'orientation stratégique de la R&D énergétique que des financements a ainsi pu être qualifiée de *colbertisme technologique*.¹³⁵ Devant les risques sociétaux et économiques d'une résolution du défi énergétique basée uniquement sur le développement massif de la filière électronucléaire et sur la diversi-

¹³³ Dominique Turpin, « Le rôle de l'État dans l'élaboration des choix énergétiques et le rôle plus spécifique des différentes institutions publiques en France », *Les Cahiers de droit*, 24.4 (1983), 737-58, <https://doi.org/10.7202/042568ar>.

¹³⁴ Emmanuel Poncet, « EDF, c'est Toujours Un Peu Le Ministère de l'électricité », 16.12.1994, http://www.liberation.fr/futurs/1994/12/16/edf-c-est-toujours-un-peu-le-ministere-de-l-electricite_117188 [accessed 9 March 2018].

¹³⁵ Laredo and Mustar.

fication de ses importations en hydrocarbures, certains experts prônaient ainsi une approche plus flexible, s'appuyant sur le développement de plusieurs options technologiques en parallèle.¹³⁶

Force est de constater que longtemps un effort limité sera consacré aux énergies nouvelles. Ainsi, le coût prohibitif des panneaux solaires, réserve alors la technologie photovoltaïque au domaine spatial. Les centrales électriques solaires thermodynamiques à concentration ont été une exception, alors qu'elles semblaient dès les années 70 et dans le contexte des crises pétrolières constituer une technologie accessible pour une application civile. Le CNRS et EDF s'associeront ainsi dès 1976 au sein du programme THEM (Thermo-Hélio-Électrique-Mégawatt) qui étudie la construction de centrales électro-solaires à tour.¹³⁷ Il en résultera en 1983 la centrale THEMIS, premier démonstrateur européen de la technologie solaire thermodynamique. Devant les difficultés d'optimisation du concept et dans un contexte de prix du pétrole bas, EDF se désengagera en 1986 du projet. Il faudra attendre trente ans avant la réhabilitation du site.

A l'image du projet THEMIS, l'effort de R&D français dans le domaine des énergies nouvelles restera longtemps hésitant. Les années 80 marquent un tournant majeur pour la R&D (énergétique) française : L'entrée en vigueur de la Loi d'orientation et de programmation (LOP) en 1982 signifie un effort de coordination d'un système de R&D jusque-là épars et donne aux acteurs politiques la possibilité d'influer sur l'orientation stratégique de la R&D publique à travers le BCRD (Budget civil de recherche et de développement technologique).¹³⁸ L'autonomie et la capacité d'auto-organisation accrues que la LOP confère aux acteurs de la R&D, signifie un début de mise en retrait de l'état. On assiste alors au début de la mutation d'un système de R&D longtemps orienté-mission (*mission-oriented*) à travers les *grands programmes*, vers un système axé sur la mise en place des conditions nécessaires à une innovation dynamique et réactive aux

¹³⁶ Jean-Marie Chevalier, « Les nouvelles technologies énergétiques : leur impact sur l'évolution des prix de l'énergie », *Revue d'économie industrielle*, 17.1 (1981), 1–25, <https://doi.org/10.3406/rei.1981.2016>.

¹³⁷ Denis Guthleben, « Les recherches sur le solaire, d'hier à aujourd'hui : un projet historique », *Annales historiques de l'électricité*, 2013, 105–10, <https://doi.org/10.3917/ahe.011.0105>.

¹³⁸ Rémi Barré, « La Loi de 1982 : éléments d'un bilan et perspectives d'avenir », in *La loi sur la recherche de 1982* (Editions Quæ, 2001), pp. 37–54, <https://www-cairn-info-s.bibliopam-ena.fr/la-loi-sur-la-recherche-de-1982--9782738009753-page-37.htm> [accessed 18 May 2018].

nouveaux défis (système orienté sur la diffusion, *diffusion-oriented*).¹³⁹ Le lancement du premier programme européen de R&D en 1984 (European Community Framework Programme for Research and Technological Development) marque le début d'une harmonisation européenne accrue et un détachement progressif de l'état français de son implication traditionnelle. Entre 1990 et 2000, la part de financement de la dépense de R&D publique française passe ainsi de 53 % à 44 %, alors que la part de contrats publics dans la R&D privée passe de 21 % (1990) à 11 %.¹⁴⁰

Principalement engagé dans le développement de la filière nucléaire française jusqu'à la fin des années 1960, le CEA diversifie fortement son activité à partir des années 1970. Il renforce alors sa collaboration avec les entreprises à travers ses activités de transfert technologique et la création de multiples filiales (Cogema, Technicatom, Eurodif, etc.). En parallèle, il développe ses activités dans les domaines de l'énergie, de la défense, des technologies de l'information, des sciences de la matière et des sciences de la vie et de la santé. L'implication marquée du CEA dans les technologies émergentes et les énergies renouvelables est signifiée en 2009 par le changement de nom du CEA en *Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives*. Cette évolution fait suite à la création de deux instituts importants : Le *Laboratoire spécialisé dans les systèmes numériques intelligents* (LIST) à Saclay en 2003 et le *Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux* (LITEN), créé à Grenoble en 2005. Le CEA amorce ainsi un rééquilibrage entre l'effort consacré à l'énergie nucléaire et l'attention portée aux énergies renouvelables et aux technologies émergentes. Un autre acteur important du domaine de l'énergie, l'IFP, devient en 2010 l'IFP Énergies nouvelles (IFPEN), traduisant un rééquilibrage similaire à celui du CEA en faveur des nouvelles technologies de l'énergie.

La transition de gouvernance publique de la R&D marque une étape importante avec la création de l'agence Nationale de la Recherche (ANR), qui fait suite à la loi de programme d'avril 2006 et au *Pacte pour la Recherche*.¹⁴¹ L'ANR prend alors en charge le soutien public aux projets de R&D à travers des procédures ouvertes d'appels à projet. Ces appels se répartissent à parts égales en appels non-thé-

¹³⁹ Héraud and Lachmann.

¹⁴⁰ Ibid.

¹⁴¹ Ibid ; « Le pacte pour la recherche – ESR ».

matiques (ANR dits « blanc ») et en appels thématiques, centrés sur des sujets prioritaires. A travers cette procédure concurrentielle, l'état abandonne son rôle colbertien pour une approche plus systémique, axée sur la diffusion du savoir, le transfert technologique et la création d'entreprises innovantes.

Dans les années 2000, le tissu industriel français traditionnel, les anciens champions nationaux apparaît fragilisés dans un contexte de mondialisation accélérée. Dans ce contexte, le président Chirac demande à Jean-Louis Beffa, ancien X-Mines et président-directeur général de la Compagnie de Saint Gobain, un rapport sur l'état de l'innovation industrielle et technologique française. Ce rapport devait inclure des propositions visant à optimiser le soutien public à la R&D. Le rapport Beffa *Pour une nouvelle politique industrielle* soulignera la spécialisation des industries françaises dans des secteurs de faible niveau technologique, déjà fortement soumis à la concurrence internationale.¹⁴² Le soutien public se limite alors à certains domaines héritiers des *grands programmes* comme l'aéronautique, la microélectronique ou le nucléaire civil. Face à cette situation, Beffa préconise le lancement de *Programmes mobilisateurs pour l'innovation industrielle* (PMII). Alors que les grands programmes du passé reposaient sur le triptyque recherche publique/entreprise publique/commande publique, le format des PMII doit permettre d'inciter les entreprises privées à s'investir dans les domaines de haute technologie. L'incitation financière devait venir d'un financement partagé à parts égales entre l'état et le secteur privé, les entreprises assurant le coordination des acteurs privés et publics impliqués dans chaque PMII.

Après un période de flou sur le rôle de l'état dans la R&D, on passe de l'approche dirigiste des grands programmes à un rôle de prospection, de coordination et d'incitation. Dans le contexte communautaire, Jean-Louis Beffa proposera même la création d'une agence commune, cofinancée par la France et l'Allemagne, qui serait chargée du soutien de PMII à dimension européenne. Outre la redéfinition du rôle de l'état dans le soutien à la R&D, on note ici l'idée de la création de structures communes assurant une action bilatérale concertée entre états européens.

¹⁴² Jean-Louis Beffa, *Pour Une Nouvelle Politique Industrielle*, 2005, <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/054000044/index.shtml>.

6.1.2 Allemagne

La gouvernance du soutien public à la R&D énergétique dans la jeune République fédérale d'Allemagne (BRD) sera d'abord profondément marquée par l'expérience du national-socialisme et de la Deuxième Guerre Mondiale. Le régime nazi avait en effet mis en place un système fortement centralisé, contrôlé par des organes puissants et axé sur les priorités nationales et idéologiques.¹⁴³ Ainsi, la R&D énergétique est notamment poussée dans le domaine stratégique des carburants de synthèse, élément vital de l'effort de guerre.¹⁴⁴ En réaction à l'instrumentalisation des sciences par les nazis, les alliés poussent à une reconstruction décentralisée du système scientifique ouest-allemand.¹⁴⁵ Le soutien public à la R&D restera jusqu'au milieu des années 50 une compétence exclusive des états fédérés. La Société Max Planck, fondée en 1946 sera ainsi financée exclusivement par les Bundesländer jusqu'en 1957.

Un élément important de la R&D énergétique allemande sera en outre l'exclusion par les alliés de la R&D appliquée du champ d'action des pouvoirs publics. Cet interdiction étendue aux quatre zones d'occupation sera réaffirmée au moment de la fondation de la BRD en 1949 et explique le démarrage tardif d'un programme nucléaire civil en BRD vers la fin des années 50.¹⁴⁶ La gouvernance publique de la R&D (énergétique) est ainsi orientée dans sa phase initiale sur la recherche fondamentale. Cette approche dite *classique* est alors non seulement voulue par les forces d'occupation mais également activement promulguée par le ministre de l'Economie Ludwig Erhard et son ministère, le BMWi.¹⁴⁷ Dans l'esprit de l'économie de marché naissante, on espérait garantir un maximum

¹⁴³ Sören Flachowsky, « Das Reichsamt Für Wirtschaftsausbau Als Forschungsbehörde Im NS-System. Überlegungen Zur Neuen Staatlichkeit Des Nationalsozialismus The Reich Office for Economic Expansion as a Research Agency within the Nazi System. Considerations on the New State under National Socialism », *Technikgeschichte*, 82.3 (2015), 185–224, <https://doi.org/10.5771/0040-117X-2015-3-185>.

¹⁴⁴ Helmut Maier, in *Chemiker im « Dritten Reich » : Die Deutsche Chemische Gesellschaft und der Verein Deutscher Chemiker im NS-Herrschaftsapparat*, 1. (Weinheim : Wiley-VCH, 2015), p. 255.

¹⁴⁵ Martin Lengwiler, « Kontinuitäten und Umbrüche in der deutschen Wissenschaftspolitik des 20. Jahrhunderts », in *Handbuch Wissenschaftspolitik* (VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010), pp. 13–25, https://doi.org/10.1007/978-3-531-91993-5_2.

¹⁴⁶ Thomas Stamm, *Zwischen Staat und Selbstverwaltung : die deutsche Forschung im Wiederaufbau 1945–1965* (Wissenschaft und Politik, 1981).

¹⁴⁷ Kübler.

d'efficacité et de flexibilité à la R&D appliquée, en laissant le champ libre aux entreprises.

La création de la DDR se traduit par un mouvement opposé de centralisation du système de R&D est-allemand sur le modèle soviétique. Néanmoins, la DDR met un certain temps à se stabiliser et il faudra attendre les années 50 avant de discerner une véritable gouvernance propre à la R&D. La décision sera alors prise d'importer des réacteurs nucléaires soviétiques plutôt que de développer une technologie nationale. La R&D est-allemande restera ainsi quasiment absente du domaine énergétique, se concentrant sur d'autres domaines nécessitant des investissements moins lourds, tels que la biologie moléculaire et les NTIC.¹⁴⁸ Ainsi, l'empreinte de la R&D énergétique est-allemande sera modeste, lorsque le modèle ouest-allemand absorbera l'essentiel des structures scientifiques au moment de la Réunification.

En BRD, le modèle de gouvernance classique de la R&D sera remis en cause dans les années 50, alors que la réflexion sur un programme nucléaire civil allemand gagne du terrain.¹⁴⁹ En effet, la BRD voit dans le développement d'une technologie nucléaire allemande un projet de prestige permettant de réaffirmer son image sur la scène scientifique internationale, une décennie après la fin de la guerre. A l'inverse, l'industrie montre peu d'intérêt à investir dans une technologie alors loin de la rentabilité. Les nouvelles ambitions de l'état fédéral en matière de R&D énergétique se traduisent en 1955 par la création du ministère en charge des Questions nucléaires (*Bundesministerium für Atomfragen*) avec à sa tête Franz Joseph Strauß.

Le nouveau ministère s'attache alors à financer les grands projets de R&D énergétique dans le domaine du nucléaire. Ce domaine est en effet jugé stratégique mais requiert des fonds importants, ce qui dépasse les possibilités des états fédérés et dissuade encore les acteurs privés. L'Allemagne s'engage même sur la voie des grands programmes avec le premier programme atomique (*1. Atomprogramm*), lancé en 1956. Cette implication nouvelle de l'état fédéral dans la R&D énergétique marque la transition du modèle *classique* de gouvernance vers un modèle dit *néoclassique*, caractérisé par un effort fédéral centralisé autour de

¹⁴⁸ Lengwiler.

¹⁴⁹ Kübler.

thématiques jugées prioritaires.¹⁵⁰ Jusqu'en 1982, ce soutien fédéral au seul domaine nucléaire civil se chiffrera à hauteur de 1,8 m^{rds} d'euros.¹⁵¹ D'un point de vue structurel, la nouvelle conception du rôle de l'état se traduit en 1963 par la création du ministère fédéral de la Recherche scientifique (*Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung*, actuellement *Bundesministerium für Bildung und Forschung* (BMBF)) qui remplace et complète le ministère en charge des Questions nucléaires. De par ses origines, le BMBF défendra à l'avenir la conception néoclassique plus interventionniste, qui place l'état fédéral au centre de la politique de R&D notamment en matière énergétique. A l'inverse, le BMWi restera plus proche de la ligne de gouvernance classique, qui place les entreprises au centre de la R&D appliquée et veut faire jouer la libre concurrence de l'innovation.

Un autre changement de paradigme sera introduit à travers la mise en concurrence croissante des systèmes de R&D nationaux sur le plan international. Grâce aux relevés d'indicateurs objectifs effectués par l'OCDE, les systèmes scientifiques deviennent plus comparables, ce qui favorise la compétition. La comparaison du modèle ouest-allemand au modèle américain augmente l'impression d'une lacune technologique entre recherche fondamentale et technologies compétitives. En conséquence le ministère fédéral de la Recherche scientifique juge de manière croissante la R&D à de par son potentiel socio-économique. On financera ainsi de manière accrue les technologies nucléaires jugées proches de la maturité telles que la filière thorium à haute température.¹⁵²

En 1973, la première crise pétrolière qui découle de la Guerre du Kippour va achever la centralisation du soutien à la R&D énergétique dans une logique économique. La fin de la longue période de croissance des Trente Glorieuses favorise alors une gouvernance du soutien à la R&D s'inscrivant dans une politique structurelle macroéconomique. On développe une approche globale des problématiques énergétiques. Un premier but sera la sécurisation de l'approvisionnement

¹⁵⁰ Lengwiler.

¹⁵¹ Kübler.

¹⁵² Wolfgang Bruder and Nicolai Dose, « Forschungs- und Technologiepolitik in der Bundesrepublik Deutschland », in *Forschungs- und Technologiepolitik in der Bundesrepublik Deutschland*, Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Forschung (VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 1986), pp. 11–75, https://doi.org/10.1007/978-3-322-88528-9_2.

ment énergétique à travers le nucléaire, mais aussi en favorisant les technologies favorisant l'efficacité énergétique et l'exploration de sources alternatives (fluidification et gazéification du charbon). L'état cherche également à renforcer de manière accrue la compétitivité internationale de l'industrie allemande à travers l'innovation. Ces objectifs seront explicités en 1975 par le gouvernement fédéral dans son 1^e *programme cadre de la recherche énergétique et des technologies de l'énergie (Rahmenprogramm Energieforschung und Energietechnologien)*. Il n'est alors pas encore fait mention des sources d'énergies renouvelables (SER), encore trop loin de l'introduction sur le marché.

Dans les années 70 on assiste en Allemagne à la montée en puissance du débat de société sur le modèle énergétique, qui se cristallise autour de la sortie du nucléaire et des aspects environnementaux. Le BMWi bloque alors le soutien aux SER, de peur de créer un marché non-rentable dépendant de subventions sur le long terme. Devant l'intérêt public croissant, en 1976 le BMBF décide néanmoins de lancer un premier grand projet dans le domaine de l'éolien, le projet *Growian*.¹⁵³ Ce projet d'une éolienne de 3 MW restera un échec cuisant caractérisé par une inadéquation entre l'ambition des objectifs fixés avec les avancées technologiques de l'époque. Les projets développés par la suite seront d'une approche plus progressive et se focaliseront sur de petites installations. En 1981, le développement des SER devient un objectif affiché du gouvernement fédéral en faisant son entrée dans le 2^e *programme « recherche énergétique et technologies de l'énergie » (2. Programm « Energieforschung und Energietechnologien »)*.¹⁵⁴

L'approche progressive du soutien au SER est couronnée par un premier succès lorsqu'en 1989 le gouvernement fédéral, convaincu de la maturité de la technologie éolienne lance un projet de développement d'installations éoliennes de 100 MW.¹⁵⁵ Une première étape est ainsi franchie, alors que les SER font leur ap-

¹⁵³ Hans Georg Gemünden, « Innovationsmanagement als Kooperationsmanagement », in *Technologie- und Innovationsmanagement, Betriebswirtschaftslehre für Technologie und Innovation* (Deutscher Universitätsverlag, 2001), pp. 117–61, https://doi.org/10.1007/978-3-322-81048-9_5.

¹⁵⁴ Welt der Physik, « Energieforschungsprogramme von 1974 bis heute », <https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/ueberblick/geschichte/energieforschung-ab-1974/> [accessed 24 July 2018].

¹⁵⁵ Rolf Wüstenhagen and Michael Bilharz, « Green Energy Market Development in Germany : Effective Public Policy and Emerging Customer Demand », *Energy Policy*, 34.13 (2006), 1681–96, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.07.013>.

parition sur le marché de l'énergie. En parallèle, on assiste à une montée en puissance du mouvement antinucléaire et écologiste, qui aboutit à l'entrée du parti *Die Grünen* au parlement (*Bundestag*) en 1983. La pression en faveur des SER augmente ainsi tout au long des années 80 et l'accident de Tchernobyl en 1986 achèvera de faire des SER une priorité politique. Cette évolution se reflète dans le 3^e programme « recherche énergétique et technologies de l'énergie » (3. Programm « *Energieforschung und Energietechnologien* ») où les trois objectifs de la R&D énergétique sont mises sur un pied d'égalité : sécurité de l'approvisionnement, rentabilité et protection de l'environnement. Conséquemment on assiste au cours des années 80 à un déclin des financements accordés à la R&D nucléaire et aux premiers fonds importants dédiés à la R&D sur les SER (cf. Figure 6).

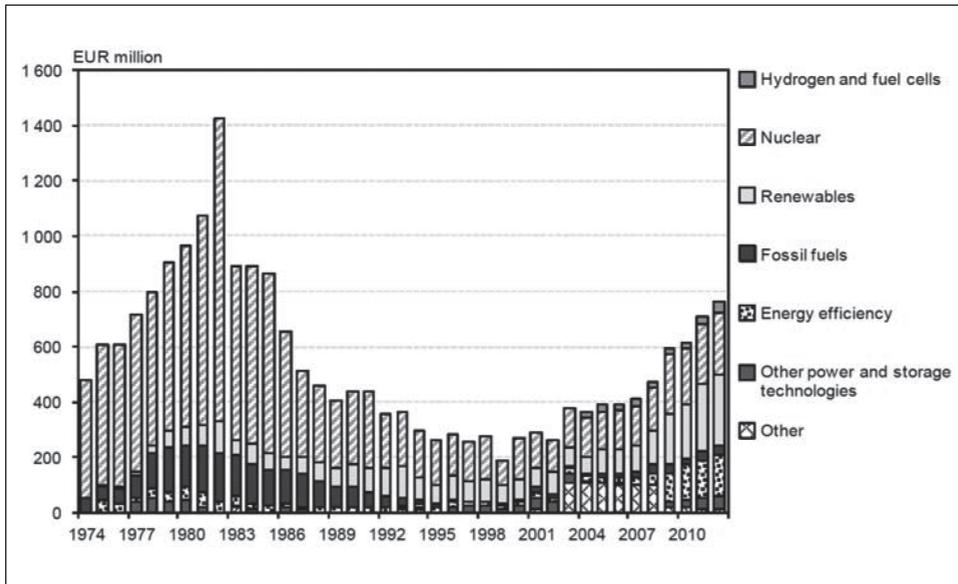


Figure 6 : Soutien fédéral direct à la R&D énergétique réparti par domaines technologiques de 1974 à 2012 en M€ (*Energy Policies of IEA Countries – Germany, IEA Review*)

En 1990, le statut des SER dans le paysage énergétique allemand s'affirme à travers la loi sur l'injection de courant (*Stromeinspeisungsgesetz*). Le *Stromeinspeisungsgesetz* définit pour les compagnies énergétiques une obligation de captage et de rachat de l'électricité renouvelable et garantit aux opérateurs de SER un

revenu plancher. Cette réglementation constitue alors une première mondiale et permet le développement des premières installations éoliennes rentables au sein d'une niche de marché protégée par la politique du gouvernement fédéral. En 2000 la loi sur les énergies renouvelables (*Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG*) induira enfin une transformation durable du mix énergétique allemand en fixant l'objectif de sortie progressive du nucléaire jusqu'en 2020 et une part de SER fixée à 12.5% en 2010. La loi revoie également à la hausse les prix plancher de l'énergie issue des sources photovoltaïques (PV) qui arrivent à maturité et inclue l'énergie géothermale. La garantie de subvention sur 20 ans envoie un signal fort, qui motivera le secteur privé à investir dans la R&D appliquée autour des SER. Les lois successives modifient profondément les conditions cadre du marché énergétique allemand. Sur le plan national, la R&D énergétique n'aboutit donc plus dans un environnement soumis aux lois du marché, mais bien dans une niche protégée. On observe que dans les années 90 la gouvernance du soutien fédéral à la R&D énergétique entre dans une nouvelle phase, qu'on peut qualifier de *post-classique*. Au lieu d'attendre que les technologies renouvelables rattrapent les énergies fossiles et nucléaires, la EEG a misé sur un soutien actif au marché des SER dans le but de dépasser les handicaps initiaux.

Dans les faits, la EEG va induire une modification profonde du mix énergétique allemand : L'énergie issue des SER passe de 29 TWh en 1999 à 161 TWh en 2014.¹⁵⁶ A l'inverse, l'énergie produite par les centrales nucléaires passe de 170 TWh en 2000 à 97 TWh en 2015 et l'énergie issue des centrales à charbon de 291 TWh à 265 TWh sur la même période. En 2012, les postes dans le secteur industriel lié aux SER dépassent les 350 000. A la fin des années 2000, les priorités se déplacent vers l'intégration progressive des SER à l'économie de marché. En parallèle, on assiste à une augmentation notable des fonds dédiés à la R&D énergétique renouvelable avec l'introduction du 5^e programme « recherche énergétique et technologies de l'énergie » (*5. Programm « Energieforschung und Energietechnologien »*). Les R&D énergétique est alors passé sous la responsabilité du ministère fédéral de l'Economie, qui met l'accent sur la rentabilité économique et le développement de nouvelles technologies compétitives. Le but affiché est de combler d'éventuelles lacunes entre la maturité technologique des SER et leur degré d'intégration poussé artificiellement jusque-là par la EEG.

¹⁵⁶ Lauber and Jacobsson.

Avec le 6^e programme « recherche pour un approvisionnement énergétique rentable, sûr et respectueux de l'environnement » (6. Programm « Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung »), le gouvernement fédéral reconnaît l'intégration avancée des SER dans le mix énergétique et les nouvelles problématiques qui en découlent. De nouveaux accents seront ainsi placés sur les réseaux, les technologies de stockage et de gestion intelligente. Du statut de technologie de niche, les SER ont ainsi pleinement été intégrées à la gouvernance de la R&D énergétique au fil des années et des événements historiques majeurs qui ont marqué les stratégies énergétique et industrielle de l'Allemagne. Actuellement, on observe un effort conjoint du BMWi et du BMBF dans le soutien à la R&D énergétique, visant trois objectifs :

- Assurer le succès de la *Energiewende* en sécurisant l'approvisionnement énergétique national dans un contexte d'intégration croissante des SER
- Assurer la rentabilité économique des technologies développées
- Faire de l'Allemagne un champion international dans le domaine des technologies liées aux SER

Il est à noter que l'Allemagne continue à consacrer des fonds au domaine nucléaire dans les domaines de la sécurité, du retraitement des déchets et du démantèlement, mais aussi dans le cadre de la recherche sur la fusion, notamment dans le cadre du projet international ITER.

6.2 Annexe B : Aspects historiques de la coopération franco-allemande en matière de R&D énergétique

La coopération franco-allemande en matière de recherche se caractérise par une histoire contrastée, qui met en lumière l'importance du chemin parcouru. Après la Seconde Guerre mondiale, la recherche allemande subit d'abord de plein fouet la politique alliée de démantèlement. Au-delà des infrastructures industrielles, les alliés confisquent largement les propriétés intellectuelles à la base du savoir-faire scientifique et technologique allemand.¹⁵⁷ La relation initiale sera donc celle entre occupant et vaincu. Dans la zone d'occupation française, en 1945 le démantèlement démarre par la confiscation pure et simple de matériel dans les laboratoires de recherche par les militaires français. Rapidement néanmoins, des scientifiques français comme F. Joliot-Curie, premier Haut-Commissaire du CEA, constatent les ravages causés par cette politique de pillage.¹⁵⁸ En l'absence de coopération scientifique, aucune transmission des savoir-faire n'a lieu, rendant caduque la récupération de matériel. La France met alors en place dès 1946 une mission du CNRS, dont le but sera une récupération des savoir-faire allemands sur une place plus partenariale. Les pillages se muent en missions de rachat et de coopération scientifique, menées par des chercheurs du CNRS. Sur fond de Guerre froide, la France cessera ses activités de démantèlement en 1950 et accepte la réintégration des capacités de recherche allemandes dans sa zone au reste du système de R&D ouest-allemand.¹⁵⁹

En 1963, les relations franco-allemandes entrent dans une ère nouvelle avec la signature du traité de l'Élysée. Cet accord marque un changement profond et durable des relations des deux nations longtemps ennemies, en instituant un climat de réconciliation et de confiance. Ce sera également le coup de départ d'une relation privilégiée entre les chercheurs des deux pays. Bien que la recherche ne soient pas un thème central du traité, les consultations régulières mises en place

¹⁵⁷ Raymond G. Stokes, « Science, Technology, and Reparations. Exploitation and Plunder in Postwar Germany. John Gimbel. Stanford University Press, Stanford, CA, 1990. Xvi, 280 Pp. \$29.50 », *Science*, 248.4960 (1990), 1241–1241, <https://doi.org/10.1126/science.248.4960.1241>.

¹⁵⁸ Corine Defrance, « La mission du CNRS en Allemagne (1945–1950). Entre exploitation et contrôle du potentiel scientifique allemand », *La revue pour l'histoire du CNRS*, 2001, <https://doi.org/10.4000/histoire-cnrs.3372>.

¹⁵⁹ Corine Defrance, in *La Politique Culturelle de La France Sur La Rive Gauche Du Rhin, 1945–1955* (Presses universitaires de Strasbourg, 1994), pp. 275–76.

entre les administrations françaises et allemandes conduisent à un rapprochement des ministères chargés de la recherche. Les ministres de la Recherche se concertent ainsi bientôt au-delà des Conseil des ministres conjoints bisannuels. Alors que le Conseil européen pour la recherche nucléaire CERN créé en 1953 est encore une initiative largement américaine, on cherche bientôt à lancer des projets franco-allemands. De telles initiatives sont vues comme mutuellement bénéfiques. En effet, les français cherchent à s'affranchir d'un monopole américain ressenti en matière de R&D et les allemands voulant reprendre pied sur la scène internationale.

La coopération va démarrer dans le domaine des grands instruments de recherche, qui se prêtent particulièrement à la mise en commun de fonds et à un engagement consensuel sur le long terme. Au début des années 60, les européens ne possèdent pas de source de neutrons, un instrument essentiel en science des matériaux, notamment dans le contexte de la recherche nucléaire du CEA. Sur un plan politique, l'idée d'un projet franco-allemand tombait alors sur un terrain fécond.¹⁶⁰ En effet, en 1965 De Gaulle démarre sa *politique de la chaise vide* dans les instances européennes afin de protester contre le caractère jugé trop fédéral de l'Union Européenne. Dans ce contexte, le gouvernement allemand cherche des projets bilatéraux, permettant un rapprochement franco-allemand. Lors d'une présentation du projet français de source de neutrons à Genève en 1964, le BMBF y voit une chance de développer le partenariat franco-allemand et s'investit dans le projet avec l'appui du ministre de la Recherche, Hans Lenz. En misant sur les savoir-faire complémentaires des chercheurs français et allemands, la France et l'Allemagne créent l'Institut Laue-Langevin (ILL) à Grenoble en 1967. Cette première réalisation concrète, qui démontre le potentiel scientifique du couple franco-allemand, est toujours à ce jour la source de neutrons la plus puissante au monde. Ce succès sera largement attribué au nouveau climat d'entente initié par le traité de l'Elysée.¹⁶¹

Sur un plan institutionnel, ce sont notamment les contacts étroits et chaleureux entre des personnalités scientifiques de haut rang comme Louis Néel, alors di-

¹⁶⁰ Bernard Jacrot, « Préhistoire », in *Des neutrons pour la science* (EDP Sciences, 2006), pp. 1–16.

¹⁶¹ Olof Hallonsten, « The Politics of European Collaboration in Big Science », in *The Global Politics of Science and Technology – Vol. 2, Global Power Shift* (Springer, Berlin, Heidelberg, 2014), pp. 31–46, https://doi.org/10.1007/978-3-642-55010-2_3.

recteur du Centre d'études nucléaires de Grenoble (CENG) du CEA et le physicien Heinz Maier-Leibnitz, qui feront avancer le projet de l'ILL. Le travail intense de coopération qui s'en suit conduira au succès de l'ILL. En effet, d'un point de vue scientifique, l'ILL restera jusqu'en 2006 la source de neutrons la plus puissante au monde.

Sur un plan plus personnel, la création de l'ILL, à peine 20 ans après la fin de la Seconde guerre mondiale n'allait pas de soi. Les relations des scientifiques français vis-à-vis des allemands étaient marquées par la méfiance. L'établissement de relations collégiales, voire même amicales est souligné par Bernard Jacrot, le premier directeur associé français de l'ILL, comme l'une des clés du succès de ce premier grand projet de recherche franco-allemand.¹⁶² Il souligne notamment le rôle primordial de scientifiques d'origine juive comme Jules Horowitz et Robert Dautray du CEA, qui par leur ouverture d'esprit contribuèrent grandement à l'acceptation des partenaires allemands.

Le succès de l'ILL marque une étape majeure dans le développement du potentiel scientifique du couple franco-allemand. Il s'en suivra la création d'autres structures de recherche fondamentale communes, comme en 1979 un institut de radioastronomie sous responsabilité conjointe du CNRS et de la MPG, l'Institut de radioastronomie millimétrique (IRAM).¹⁶³ L'action concertée de la France et de l'Allemagne joue également un rôle prépondérant dans la création de l'Agence spatiale européenne (ESA) en 1975 et dans le développement des lanceurs ARIANE.

Néanmoins, jusque dans les années 80 la politique de recherche française est dominée par les *grands programmes* et le soutien aux *champions nationaux*, ce qui limite les possibilités de projets de recherche bilatéraux dans le domaine appliqué. C'est sur le plan européen que le couple franco-allemand va connaître un nouvel essor. En effet, L'Union européenne lance en 1984 son premier Programme-cadre pour la recherche et le développement technologique (PCRD). La concertation régulière des deux gouvernements permettra une approche coordonnée dans l'orientation stratégique des PCRD.

¹⁶² Jacrot, « Conclusion ».

¹⁶³ Gabriele Berberich, *40 Jahre Deutsch-Französische Zusammenarbeit in Forschung Und Technologie : Bilanz Und Perspektiven* (BMBF, 2005).

Les années 90 voient une évolution qui rendra possible une collaboration franco-allemande plus dynamique dans des domaines appliqués. Alors que côté allemand, la R&D est déjà depuis 1945 largement décentralisée, avec une multiplicité d'acteurs indépendants, l'état français se retire lui aussi progressivement de l'orientation stratégique de la R&D. On passe d'un système axé sur des missions précises (*mission oriented*), comme le développement du nucléaire, à une approche orientée vers un soutien plus indirect. L'objectif devient la création de savoir et le transfert technologique (système *diffusion oriented*). Un certain nombre de partenariats plus autonomes et plus appliqués vont naître à cette époque, comme la collaboration du DLR et de l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA) dans le domaine des hélicoptères.¹⁶⁴

Sur fond de globalisation, le tournant du siècle force en France comme en Allemagne le constat d'une disparition des monopoles traditionnels dans le domaine des hautes technologies. Ainsi, un groupe de travail franco-allemand réuni autour de Jean-Louis Beffa (Président d'honneur de Saint-Gobain) et de Gerhard Cromme (Président du Conseil de Surveillance de Siemens) constate en 2013 que l'innovation n'est plus une chasse gardée d'un nombre restreint de pays.¹⁶⁵ Afin de permettre à l'industrie européenne de faire face à une concurrence internationale en plein essor, les experts prônent une accélération de la mutualisation des capacités d'innovation européennes. Le rapport Beffa/Cromme insistera notamment sur une coopération franco-allemande renforcée, notamment dans les domaines de l'innovation énergétique. Des projets de R&D appliqués reposant sur les synergies franco-allemandes conduiraient à une création de savoir-faire à forte valeur ajoutée. De plus, des actions concertées devraient avoir un effet d'entraînement sur le reste des pays européens, faisant avancer le projet d'un

¹⁶⁴ Berberich, *40 Jahre Deutsch-Französische Zusammenarbeit in Forschung Und Technologie : Bilanz Und Perspektiven*.

¹⁶⁵ Jean-Louis Beffa and Gerhard Cromme, *Compétitivité et croissance en Europe : groupe de travail franco-allemand*, 2013, <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/134000329/index.shtml>; L'Usine Nouvelle, « France-Allemagne : la leçon du rapport Beffa-Cromme – Editorial », *usinouvelle.com*, 2013, <https://www.usinenouvelle.com/article/france-allemande-la-lecon-du-rapport-beffa-cromme.N198104> [accessed 26 March 2018]; Dominique Gallois et Cédric Pietralunga, « Le rapport Beffa-Cromme remis jeudi à Hollande et Merkel », *Le Monde.fr*, 29 May 2013, section Économie, http://www.lemonde.fr/economie/article/2013/05/29/competitivite-le-rapport-beffa-cromme-remis-jeudi-a-hollande-et-merkel_3420052_3234.html [accessed 27 March 2018].

espace de recherche et d'innovation européen prêt à affronter la concurrence internationale.

Dans les années 2000, la coopération franco-allemande en recherche fondamentale est déjà intense, portée par les grands instruments de recherche communs comme l'ILL, le synchrotron ESRF ou le CERN. Il faut y ajouter les échanges de jeunes chercheurs rendus possibles par les parcours d'études franco-allemands et par les bourses de l'Office franco-allemand de la jeunesse (OFAJ) ou l'université franco-allemande (UFA). Ainsi, en 2007, la France était le deuxième partenaire des instituts de recherche allemands après les Etats-Unis.¹⁶⁶ D'un point de vue des publications conjointes, en 2014 la France se classait troisième partenaire des scientifiques allemands après les américains et les britanniques.¹⁶⁷ Afin d'étendre cette dynamique à la R&D appliquée en mettant en place des partenariats stratégiques, une réflexion a été lancée au plus haut niveau politique. En 2002, la France et l'Allemagne organisent ainsi le premier forum de coopération franco-allemand en matière de recherche, qui lance en particulier la réflexion sur la mise en place de programmes de financement bilatéraux. Cette réflexion conjointe aboutit en 2003, à l'occasion des célébrations du 40^e anniversaire du traité de l'Elysée, à une feuille de route franco-allemande qui met l'innovation au centre des efforts conjoints.

Dans ce contexte de soutien politique fort, on cherche alors un format adapté à la valorisation des synergies franco-allemandes. Suite à la création de l'ANR en 2005, on assiste au lancement d'un nombre important de programmes de recherche bilatéraux. Le but de ces programmes est la création de partenariats stratégiques dans des domaines stratégiques. On identifie en particulier les défis technologiques liés à la transition énergétique comme une thématique d'intérêt commun et relevant de fortes synergies entre les acteurs français et allemands. C'est dans cet esprit que la déclaration finale du 19^e Conseil des ministres franco-allemand du 13 juillet 2017 citait une approche commune dans le domaine de la R&D énergétique comme l'un des objectifs principaux de la coopération fran-

¹⁶⁶ B. Ebersberger and others, *Ausmaß Internationaler Aktivitäten in Der Deutschen Öffentlich Finanzierten Wissenschaft* (Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2007), <https://core.ac.uk/display/56977871> [accessed 14 February 2018].

¹⁶⁷ Rainer Frietsch, Patricia Helmich, and Peter Neuhäusler, *Performance and Structures of the German Science System 2016* (Studien zum deutschen Innovationssystem, 2017), <https://www.econstor.eu/handle/10419/156648> [accessed 14 February 2018].

co-allemande.¹⁶⁸ L'évaluation des programmes bilatéraux de soutien à la R&D appliquée doit permettre d'étudier l'impact de ces outils sur la valorisation du potentiel franco-allemand face aux nouveaux défis technologiques.

¹⁶⁸ *Gemeinsame Erklärung Zum 19. Deutsch-Französischen Ministerrat*, 13 July 2017, pp. 6–8, <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Pressemitteilungen/BPA/2017/07/2017-07-13-erklaerung-d-f-ministerrat.html>.

Liste des figures

Figure 1: Emissions sectorielles annuelles en France et en Allemagne en 2014, total des émissions par pays au centre en mns de tonnes équivalent CO ₂ (en gras)	7
Figure 2: Echelle de maturité technologique (Technology readiness level, TRL)	11
Figure 3: Evolution des financements publics de la recherche et développement (R&D) sur l'énergie en France de 2006 à 2016 (montants des subventions en m ^{ns} d'euros)	12
Figure 4: Soutien fédéral direct à la R&D énergétique réparti par domaines technologiques de 1974 à 2012 en M€	15
Figure 5: Comparaison des structures de la R&D énergétique en France et en Allemagne en fonction de l'échelle TRL (acteurs en cadres pleins, organismes de financement et d'orientation stratégique en cadre vides, organismes de liaison en cercles)	19
Figure 6: Soutien fédéral direct à la R&D énergétique réparti par domaines technologiques de 1974 à 2012 en M	85

Liste des tableaux

Tableau 1 : Objectifs énergétiques et environnementaux de l'Allemagne et de la France	6
Tableau 2 : Recettes civiles des principaux organismes de R&D impliqués dans la recherche énergétique en France	10
Tableau 3 : Budget des principaux organismes de R&D impliqués dans la recherche énergétique en Allemagne	16
Tableau 4 : Dépense de R&D en France et en Allemagne en 2014 selon les données de l'OCDE (GERD : dépense nationale brute en R&D ; GOVERD : dépense gouvernementale brute en R&D, BERD : dépense de R&D des entreprises)	23

Bibliographie

60 Jahre Fraunhofer-Gesellschaft (FhG, 2009), <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/publikationen/broschueren/60JahreFraunhofer-Gesellschaft.pdf> [accessed 31 August 2017].

Actes du 3ème forum de la coopération franco-allemande en recherche, 2008, // www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid23004/actes-du-3eme-forum-de-la-cooperation-franco-allemande-en-recherche.html [accessed 16 July 2018].

Actes du 4ème forum de la coopération franco-allemande en recherche, 2011.

Baasner, Frank, ‹ Deutsch-Französische Kooperation – Kulturelle Und Kommunikative Herausforderungen, Ein Workshop Für Den 9. Jahrgang MEGA 2017/18 › (Berlin, 2017).

–, *Gérer la diversité culturelle : Théorie et pratique de la communication interculturelle en contexte franco-allemand*, 1st edn (Frankfurt am Main ; New York : Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften, 2005).

Ballouck, Andrea, ‹ Opening up National Research Programmes as a Strategy for International Applied Research ›, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 63–70.

Barmeyer, Christoph, and Eric Davoine, ‹ Intercultural Difficulties in French-German Research and Development Projects ›, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 31–40.

Barré, Rémi, ‹ La Loi de 1982 : éléments d'un bilan et perspectives d'avenir ›, in *La loi sur la recherche de 1982* (Editions Quæ, 2001), pp. 37–54, <https://www.cairn-info-s.bibliopam-ena.fr/la-loi-sur-la-recherche-de-1982--9782738009753-page-37.htm> [accessed 18 May 2018].

- Barrillot, Bruno, « Le CEA, Combien de Divisions ? », *Damoclès*, 1995.
- Beffa, Jean-Louis, *Pour Une Nouvelle Politique Industrielle*, 2005, <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/054000044/index.shtml>.
- Beffa, Jean-Louis, and Gerhard Cromme, *Compétitivité et croissance en Europe : groupe de travail franco-allemand*, 2013, <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/134000329/index.shtml>.
- Beltran, Alain, « La France et Sa Politique de l'énergie (Des Années 1970 à Aujourd'hui) », in *La Transition Énergétique. Un Défi Franco-Allemand et Européen* (CIRAC, 2017), pp. 17–25.
- , « La Politique Énergétique de La France Au XXe Siècle : Une Construction Historique », *Annales Des Mines*, 1998, 6–10.
- Berberich, Gabriele, *40 Jahre Deutsch-Französische Zusammenarbeit in Forschung Und Technologie : Bilanz Und Perspektiven* (BMBF, 2005), pp. 34–37.
- , *40 Jahre Deutsch-Französische Zusammenarbeit in Forschung Und Technologie : Bilanz Und Perspektiven* (BMBF, 2005).
- BMBF-Internetredaktion, « Israel – BMBF », *Bundesministerium für Bildung und Forschung – BMBF*, <https://www.bmbf.de/de/israel-297.html> [accessed 5 October 2018].
- Brown, Trevor, « Renewable Energy for Industry : IEA's Vision for Green Ammonia as Feedstock, Fuel, and Energy Trade », *AMMONIA INDUSTRY*, 2017, <https://ammoniaindustry.com/renewable-energy-for-industry-ieas-vision-for-green-ammonia-as-feedstock-fuel-and-energy-trade/> [accessed 9 October 2018].
- Bruder, Wolfgang, and Nicolai Dose, « Forschungs- und Technologiepolitik in der Bundesrepublik Deutschland », in *Forschungs- und Technologiepolitik in der Bundesrepublik Deutschland*, Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Forschung (VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 1986), pp. 11–75, https://doi.org/10.1007/978-3-322-88528-9_2.
- Bundesbericht Energieforschung 2018* (BMW).i.
- Bundesbericht Forschung Und Innovation 2016* (BMW, 2017).

- Bundesbericht Forschung Und Innovation 2016* (BMW, 2016), p. 78.
- ◁ Carbon2Chem – von CCS Zu CCU ▷, <https://www.solarify.eu/2016/07/01/671-carbon2chem-von-ccs-zu-ccu/> [accessed 12 November 2018].
- CEA, ◁ L'histoire de la création du CEA ▷, CEA/CEA, 2017, <http://www.cea.fr/Pages%2fle-cea%2fhistoire-creation-CEA.aspx> [accessed 8 March 2018].
- Chevalier, Jean-Marie, ◁ Les nouvelles technologies énergétiques : leur impact sur l'évolution des prix de l'énergie ▷, *Revue d'économie industrielle*, 17 (1981), 1–25, <https://doi.org/10.3406/rei.1981.2016>.
- ◁ Colloque PICF 2009 ▷, ANR, <http://www.agence-nationale-recherche.fr/informations/l-actu-en-video/colloque-picf-2009/> [accessed 24 September 2018].
- ◁ Conférence Franco-Allemande sur l'Hydrogène – Horizon 2020 ▷, <http://www.horizon2020.gouv.fr/cid133032/conference-franco-allemande-sur-l-hydrogene.html> [accessed 25 September 2018].
- Coutrot, Aline, ◁ La Création Du Commissariat à l'énergie Atomique ▷, 31 (1981), 343–71.
- ◁ Crédit d'impôt recherche (CIR) ▷, <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23533> [accessed 26 October 2018].
- Déclaration d'intention Commune à l'occasion Du 6e Forum de La Coopération Franco-Allemande En Recherche*. (MESRI, BMBF, 2018), https://www.bmbf.de/files/V9%20FR%20-%20FRA%20BMBF%20Forschung%20und%20Innovation%202018-06-13%20Gemeinsame%20Erkl%C3%A4rung_FRA%20V9_FR-PRINT.pdf.
- Defrance, Corine, ◁ La mission du CNRS en Allemagne (1945–1950). Entre exploitation et contrôle du potentiel scientifique allemand ▷, *La revue pour l'histoire du CNRS*, 2001, <https://doi.org/10.4000/histoire-cnrs.3372>.
- , in *La Politique Culturelle de La France Sur La Rive Gauche Du Rhin, 1945–1955* (Presses universitaires de Strasbourg, 1994), pp. 275–76.
- ◁ Der Ansatz « Max Planck » ▷, https://www.mpg.de/101251/MPG_Einfuehrung [accessed 26 October 2018].

◁ Deutsch-Französische Forschungskooperation – Presseinformation 27. Oktober 2009 ▷, *Fraunhofer-Gesellschaft*, <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2009/10/deutsch-franzoesische-forschungskooperation.html> [accessed 12 June 2018].

Dimroth, Frank, La coopération dans le domaine de la recherche entre l'ISE, le CEA-Leti et Soitec : un exemple phare de collaboration franco-allemande, <https://energie-fr-de.eu/fr/qui-sommes-nous/adherents/projets-r-d/lecteur/la-cooperation-dans-le-domaine-de-la-recherche-entre-lise-le-cea-leti-et-soitec-un-exemple-phare-de-collaboration-franco-alleman.html> [accessed 7 September 2018].

–, ◁ Project-Specific Public Funding Strategies Necessary for Research Cooperation from Prototypes up to Market Introduction ▷, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 113–18.

◁ DocsRoom – European Commission ▷, <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/17822> [accessed 29 October 2018].

Document de Référence 2017–2018 Intégrant Le Rappport Financier Annuel (Soitec), https://www.soitec.com/media/upload/1_assemblee_generale/20180726_AGOE_VF/Soitec-DDR-2017-2018-VFfinale.pdf [accessed 7 November 2018].

Ebersberger, B., J. Edler, R. Frietsch, C. Grimpe, G. Licht, H. Löhlein, and others, *Ausmaß Internationaler Aktivitäten in Der Deutschen Öffentlich Finanzierten Wissenschaft* (Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2007), <https://core.ac.uk/display/56977871> [accessed 14 February 2018].

EEG 2017, 2017.

◁ Émissions Des Gaz à Effet de Serre Par Secteur [Indicateurs & Indices, Environnement, Partie 1 – Milieux Naturels et Biodiversité : État, Pressions, Climat-Effet de Serre] : Observation et Statistiques ▷, <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/f/2082/0/emissions-gaz-effet-serre-secteur-1.html> [accessed 8 October 2018].

Energiekonzept Für Eine Umweltschonende, Zuverlässige Und Bezahlbare Energieversorgung (BMWi, 28 September 2010).

- Energy Policies of IEA Countries – Germany, IEA Review* (IEA, 2013), https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Germany2013_free.pdf [accessed 12 November 2018].
- ◁ EU Contributions by Country ›, *Statista*, <https://www.statista.com/statistics/316691/european-union-eu-budget-share-of-contributions/> [accessed 20 September 2018].
- ◁ European Innovation Council (EIC) – EU-Büro Des BMBF ›, <https://www.eu-buero.de/fet-eic.htm> [accessed 5 October 2018].
- Février, Patrick, ◁ L'ADEME : entre maîtrise de l'énergie et développement durable ›, *Annales historiques de l'électricité*, 2012, 55–59, <https://doi.org/10.3917/ahe.010.0055>.
- Fischer, Severin, ◁ Comparatif Des Politiques Énergétiques : Les Voies Française et Allemande Pour La Transformation Du Système Énergétique ›, in *La Transition Énergétique. Un Défi Franco-Allemand et Européen* (CIRAC, 2017), pp. 45–52, <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/169530> [accessed 26 February 2018].
- Flachowsky, Sören, ◁ Das Reichsamt Für Wirtschaftsausbau Als Forschungsbehörde Im NS-System. Überlegungen Zur Neuen Staatlichkeit Des Nationalsozialismus The Reich Office for Economic Expansion as a Research Agency within the Nazi System. Considerations on the New State under National Socialism ›, *Technikgeschichte*, 82 (2015), 185–224, <https://doi.org/10.5771/0040-117X-2015-3-185>.
- ◁ Frank Dimroth ›, http://grands-prix-2010.institut-de-france.fr/laureats_dimroth.php [accessed 7 September 2018].
- Frietsch, Rainer, Patricia Helmich, and Peter Neuhäusler, *Performance and Structures of the German Science System 2016* (Studien zum deutschen Innovationssystem, 2017), <https://www.econstor.eu/handle/10419/156648> [accessed 14 February 2018].

- Gemeinsame Erklärung Zum 19. Deutsch-Französischen Ministerrat*, 13 July 2017, pp. 6–8, <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Pressemitteilungen/BPA/2017/07/2017-07-13-erklaerung-d-f-ministerrat.html> [accessed 12 November 2018].
- Gemünden, Hans Georg, ‹ Innovationsmanagement als Kooperationsmanagement ›, in *Technologie- und Innovationsmanagement*, Betriebswirtschaftslehre für Technologie und Innovation (Deutscher Universitätsverlag, 2001), pp. 117–61, https://doi.org/10.1007/978-3-322-81048-9_5.
- ‹ Geothermie ›, <http://www.bine.info/themen/erneuerbare-energien/geothermie/publikation/geothermische-stromerzeugung-in-soultz-sous-forets/?type=333> [accessed 4 October 2018].
- ‹ Gross Domestic Expenditure on R-D by Sector of Performance and Source of Funds ›, https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=GERD_FUNDS [accessed 29 October 2018].
- Guthleben, Denis, ‹ Les recherches sur le solaire, d’hier à aujourd’hui : un projet historique ›, *Annales historiques de l’électricité*, 2013, 105–10, <https://doi.org/10.3917/ahe.011.0105>.
- Haag, Achim, ‹ Harmonisation of National Research Programmes : Enabling Joint Applications for Research Projects in Basic Research ›, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 49–54.
- Hallonsten, Olof, ‹ The Politics of European Collaboration in Big Science ›, in *The Global Politics of Science and Technology – Vol. 2, Global Power Shift* (Springer, Berlin, Heidelberg, 2014), pp. 31–46, https://doi.org/10.1007/978-3-642-55010-2_3.
- Héraud, Jean-Alain, and Jean Lachmann, ‹ L’évolution du système de recherche et d’innovation : ce que révèle la problématique du financement dans le cas français, The Evolution of the French Research and Innovation System : What does the Issue of Financing Reveal ? ›, *Innovations*, 2015, 9–32, <https://doi.org/10.3917/inno.046.0009>.

- Hirse Korn, Sigrun, < Different Funding Structures and Research Missions as Opportunities for Trans-Border Cooperation >, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences* (Fraunhofer Verlag, 2013), pp. 99–102.
- Hofstede, Geert, Gert Jan Hofstede, and Michael Minkov, *Cultures and Organizations – Software of the Mind : Intercultural Cooperation and Its Importance for Survival*, 3., revised edition (New York : McGraw-Hill Education Ltd, 2010).
- Honsdorf, Axel, < Experiences Form a Regionally Oriented Support Agency : The Bavarian-French University Centre (BFHZ) >, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 129–36.
- Iancu, Otto Theodor, < Promoting Cooperation between French and German Universities by Encouraging the Mobility of Young Resaerchers and Integrated Courses of Study >, in *Strategies for Bilateral Research Coperation : French-German Experiences* (Fraunhofer Verlag, 2013), pp. 119–28.
- < Intensive kaufmännische und interkulturelle Fortbildung >, *Deutsch-Französische Industrie- und Handelskammer*, <https://www.francoallemand.com/dienstleistungen/aus-und-weiterbildung/intensive-kaufmaennische-fortbildung/> [accessed 6 September 2018].
- < International Cooperation – H2020 Online Manual >, http://ec.europa.eu/research/participants/docs/h2020-funding-guide/cross-cutting-issues/international-cooperation_en.htm [accessed 31 October 2018].
- < ISL – A Propos >, <http://www.isl.eu/a-propos> [accessed 5 October 2018].
- Jacrot, Bernard, < Conclusion >, in *Des neutrons pour la science* (EDP Sciences, 2006), pp. 131–38.
- , < Négociations >, in *Des neutrons pour la science* (EDP Sciences, 2006), pp. 47–60.
- , < Préhistoire >, in *Des neutrons pour la science* (EDP Sciences, 2006), pp. 1–16.
- Jeltsch, Jean-Marc, < Fate of Technology Transfer in France : The Case of the University of Strasbourg >, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 41–47.

Joint Statement on the Energy Transition in France and Germany | Advice Notes and Reports | Performing the Role of an Expert and Advisor (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Académie des Sciences, Académie des Technologies, 2015), <http://www.academie-sciences.fr/en/Advice-Notes-and-Reports/joint-statement-on-the-energy-transition-in-france-and-germany.html> [accessed 13 July 2018].

Kaufmann-Spachtholz, Magdalena, Christian de Villemagne, Wolfgang Förster, and Hilmar Peter, < A French-German Research Institute as an Example for Long-Term Bilateral Scientific Cooperation >, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 159–67.

Key Trends in IEA Public Energy Technology RD&D Budgets (IEA, 2016), <https://euagenda.eu/upload/publications/untitled-60482-ea.pdf> [accessed 12 November 2018].

< Klimaziel Wird Offiziell Verfehlt >, <https://www.solarify.eu/2018/06/23/180-klimaziel-wird-offiziell-verfehlt/> [accessed 8 October 2018].

Klossa, Guillaume, and Serge Guillon, *Le Nouvel Impératif Industriel* (Ministère de l’Economie, des Finances et de l’Industrie, 2012).

Kübler, Knut, >100 Jahre Energieforschungspolitik in Deutschland : 1950 Bis 2050 >, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 3 (2017), 32–38.

Laredo, Philippe, and Philippe Mustar, < French Research and Innovation Policy : Two Decades of Transformation >, in *Research and Innovation Policies in the New Global Economy : An International Comparative Analysis* (Cheltenham, UK ; Northampton, MA : Edward Elgar Publishing Ltd, 2002).

Lauber, Volkmar, and Staffan Jacobsson, < The Politics and Economics of Constructing, Contesting and Restricting Socio-Political Space for Renewables – The German Renewable Energy Act >, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 18 (2016), 147–63, <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.06.005>.

< Le Comité de Pilotage Scientifique >, ANR, <http://www.agence-nationale-recherche.fr/missions-et-organisation/gouvernance/le-comite-de-pilotage-scientifique/> [accessed 6 November 2018].

- ◁ Le pacte pour la recherche – ESR : enseignementsup-recherche.gouv.fr ›, //m.enseignementsup-recherche.gouv.fr/pid24518-20235/le-pacte-pour-la-recherche.html [accessed 24 July 2018].
- ◁ Le PIAVE En Questions | Bpifrance Servir l'avenir ›, <https://www.bpifrance.fr/A-la-une/Actualites/Le-PIAVE-en-questions-13173> [accessed 25 October 2018].
- Lengwiler, Martin, ◁ Kontinuitäten und Umbrüche in der deutschen Wissenschaftspolitik des 20. Jahrhunderts ›, in *Handbuch Wissenschaftspolitik* (VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010), pp. 13–25, https://doi.org/10.1007/978-3-531-91993-5_2.
- Liu, Zeting, ◁ Performances et limites de la politique industrielle et de l'innovation chinoises dans le secteur énergetique : le cas des industries photovoltaïque et eolienne ›, *Marché et organisations*, 2014, 57–84, <https://doi.org/10.3917/maorg.021.0057>.
- Loesekrug-Pietri, André, *Joint European Disruptive Initiative* (Berlin, 2018).
- ◁ L'office Franco-Allemand Pour La Transition Énergétique – Nos Missions et Activités ›, 2018, https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjxrpKxkNbdAhWSp4sKHYYV_CIIQFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fenergie-fr-de.eu%2Ffr%2Facueil.html%3Ffile%3Dfiles%2Fofaenr%2F06-ofaenr%2F01-adherents%2F02-documents-pour-adhesion%2FOFATE_Brochure.pdf&usg=AOvVaw156FCh4ZpMIupvsDyao9wk [accessed 12 November 2018].
- Loi de Transition Énergétique Pour La Croissance Verte*, 2015.
- Maier, Helmut, in *Chemiker im ◁ Dritten Reich › : Die Deutsche Chemische Gesellschaft und der Verein Deutscher Chemiker im NS-Herrschaftsapparat*, 1. (Weinheim : Wiley-VCH, 2015), p. 255.
- Muller, Emmanuel, Jean-Alain Héraud, and Knut Koschatzky, ◁ Ways and Means of Cooperation along Evolutionary Economics in the Upper Rhine : The BETA-ISI Link ›, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 137–42.

- « New German-French Research Unit on Cancer and Infections », <https://www.dkfz.de/en/presse/pressemitteilungen/2012/dkfz-pm-12-14-New-German-French-research-unit-on-cancer-and-infections.php> [accessed 4 October 2018].
- Nouvelle, L'Usine, « France-Allemagne : la leçon du rapport Beffa-Cromme – Editorial », [usinenouvelle.com/](https://www.usinenouvelle.com/article/france-allemagne-la-lecon-du-rapport-beffa-cromme.N198104), 2013, <https://www.usinenouvelle.com/article/france-allemagne-la-lecon-du-rapport-beffa-cromme.N198104> [accessed 26 March 2018].
- Oser, Jürgen, « Protection Du Climat, Énergies Renouvelables et Efficacité Énergétique Dans La Région Métropolitaine Trinationale Du Rhin Supérieur », in *La Transition Énergétique – Un Défi Franco-Allemand et Européen*, Travaux et Documents Du CIRAC (CIRAC, 2017), pp. 103–14.
- Paul, Holger, « Branche in der Krise : Auf die Solarindustrie fällt der nächste Schatten », *FAZ.NET*, section Wirtschaft, <http://www.faz.net/1.3196987> [accessed 24 September 2018].
- Physik, Welt der, « Energieforschungsprogramme von 1974 bis heute », <https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/ueberblick/geschichte/energieforschung-ab-1974/> [accessed 24 July 2018].
- Pietralunga, Dominique Gallois et Cédric, « Le rapport Beffa-Cromme remis jeudi à Hollande et Merkel », *Le Monde.fr*, 29 May 2013, section Économie, http://www.lemonde.fr/economie/article/2013/05/29/competitivite-le-rapport-beffa-cromme-remis-jeudi-a-hollande-et-merkel_3420052_3234.html [accessed 27 March 2018].
- Poncet, Emmanuel, « EDF, c'est Toujours Un Peu Le Ministère de l'électricité », 16.12.1994, http://www.liberation.fr/futurs/1994/12/16/edf-c-est-toujours-un-peu-le-ministere-de-l-electricite_117188 [accessed 9 March 2018].
- « Power to Gas : la construction de Jupiter 1000 officiellement lancée », *Connaissance des Énergies*, 2017, <https://www.connaissancedesenergies.org/power-gas-la-construction-de-jupiter-1000-officiellement-lancee-171220> [accessed 26 October 2018].

- Recherche et développement pour l'énergie* (MTES, 23 February 2018), /recherche-et-developpement-lenergie [accessed 23 February 2018].
- Redaktionsassistentz 1, U. B. A., < Emissionsquellen >, *Umweltbundesamt*, 2013, <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen> [accessed 8 October 2018].
- Reillon, Vincent, *EU Framework Programmes for Research and Innovation : Evolution and Key Data from FP1 to Horizon 2020 in View of FP9 – Think Tank* (European Parliamentary Research Service, September 2017), [http://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_IDA\(2017\)608697](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_IDA(2017)608697) [accessed 2 October 2018].
- Renard, Claire Le, < Les débuts du programme électronucléaire français (1945–1974) : de l'exploratoire à l'industriel >, *Hérodote*, 2017, 53–66, <https://doi.org/10.3917/her.165.0053>.
- < Research and Development Expenditure (% of GDP) | Data >, <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?end=2015&start=2015&view=bar> [accessed 12 February 2018].
- Rösch, Roland, and Hellen Altendorf, < A Creative Way to Establish French-German Research Collaboration : The Example of Ecole Des Mines de Paris and Fraunhofer ITWM >, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences* (Fraunhofer Verlag, 2013), pp. 93–97.
- Rossinot, Elisabeth, < Getting High on Energy : Co-Operating on Fuel Cell Development >, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 71–78.
- Saulgeot, Louis, and Lucien Gouni, < Les Programmes Énergétiques Français >, *La Jaune et La Rouge*, Numéro spécial (1961), 18.
- Savoy, Bénédicte, and France Nerlich, < The Importance of Flexibility, Mobility, Academic Freedom and Cross-Cultural Competences for the Successful Organisation of Bilateral Research : Experiences of an ANR-DFG-Funded Project in Art History >, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences* (Fraunhofer Verlag, 2013), pp. 55–62.

- Schlögl, Robert, ‹ The Role of Chemistry in the Energy Challenge ›, *ChemSus Chem*, 3 (2010), 209–22, <https://doi.org/10.1002/cssc.200900183>.
- Schlögl, Robert, and Jürgen Renn, ‹ Manifest zur Energiewende – Warum wir einen radikalen Systemwechsel brauchen ›, *Der Tagesspiegel Online*, 5 March 2018, <https://www.tagesspiegel.de/wissen/manifest-zur-energiewende-warum-wir-einen-radikalen-systemwechsel-brauchen/21023736.html> [accessed 2 October 2018].
- Stamm, Thomas, *Zwischen Staat und Selbstverwaltung : die deutsche Forschung im Wiederaufbau 1945–1965* (Wissenschaft und Politik, 1981).
- ‹ Statement of the Max Planck Society on the European Commission’s Proposal for Horizon Europe › (MPG, 2018), https://www.mpg.de/12120388/statement_mpg_horizoneurope.pdf [accessed 12 November 2018].
- Stéphan, Ronan, *Programme Carnot-Fraunhofer PICE, Discours de Ronan Stéphan* (MESR, 27 October 2009), http://www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/user_upload/documents/uploaded/videos/PICF-octobre-2009/PICF-2009-MESR.pdf [accessed 12 November 2018].
- Stöcker, Christian, and Holger Dambeck, ‹ Deutsch-Französische Suchmaschine : Quaero Ist Geplatzt ›, *Spiegel Online*, 19 December 2006, section Netzwelt, <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/deutsch-franzoesische-suchmaschine-quaero-ist-geplatzt-a-455558.html> [accessed 12 June 2018].
- Stokes, Raymond G., ‹ Science, Technology, and Reparations. Exploitation and Plunder in Postwar Germany. John Gimbel. Stanford University Press, Stanford, CA, 1990. Xvi, 280 Pp. \$29.50 ›, *Science*, 248 (1990), 1241–1241, <https://doi.org/10.1126/science.248.4960.1241>.
- ‹ Teamwork für die Energie von morgen ›, <https://www.mpg.de/10446485/maxnet-energy-forschung-zur-energiewende> [accessed 6 September 2018].
- Therme, Jean, ‹ Les défis technologiques et industriels des énergies décarbonées, The technological and industrial challenges of carbonfree energy ›, *Annales des Mines – Responsabilité et environnement*, 2011, 92–97, <https://doi.org/10.3917/re.061.0092>.

- Tippmann, Volker, ‹ An Open Bilateral Call for Applied Research Projects between Fraunhofer and Carnot Institutes : P2IC ›, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 79–85.
- Tippmann, Volker, and Dominique Buoncuore, ‹ Programme Inter Carnot Fraunhofer (PICF) : A Joint Bilateral Call for Applied Research Projects between Fraunhofer and Carnot Institutes ›, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences* (Fraunhofer Verlag, 2013), pp. 103–11.
- Turpin, Dominique, ‹ Le rôle de l'État dans l'élaboration des choix énergétiques et le rôle plus spécifique des différentes institutions publiques en France ›, *Les Cahiers de droit*, 24 (1983), 737–58, <https://doi.org/10.7202/042568ar>.
- Vincenti, Daniela, ‹ Return of the JEDI : European Disruptive Technology Initiative Ready to Launch ›, *Euractiv.Com*, 2018, <https://www.euractiv.com/section/economy-jobs/news/return-of-the-jedi-european-disruptive-technology-initiative-ready-to-launch/> [accessed 11 July 2018].
- ‹ « Virtual Lab » Specializes in Ultra-High Efficiency Solar Cells from Europe – CEA Tech and Fraunhofer ISE Strengthen Their Cooperation – Fraunhofer ISE ›, *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE*, <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2015/virtual-lab-specializes-in-ultra-high-efficiency-solar-cells-from-europe.html> [accessed 1 June 2018].
- Wansch, Rainer, ‹ Specific Challenges of Complex Bilateral Research Consortia : Cooperation Experiences in the P2IC Programme ›, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 87–92.
- ‹ « Wir wollen Hüttengas in Kraftstoffe, Kunststoffe oder Dünger umwandeln » ›, <https://www.mpg.de/carbon2chem> [accessed 6 September 2018].
- Wüstenhagen, Rolf, and Michael Bilharz, ‹ Green Energy Market Development in Germany : Effective Public Policy and Emerging Customer Demand ›, *Energy Policy*, 34 (2006), 1681–96, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.07.013>.

Zenker, Andrea, Volker Tippmann, Elisabeth Baier, Jean-Alain Héraud, Emmanuel Muller, Esther Schricke, and others, ‹ Research Landscapes and Innovation Policies in France and in Germany : An Overview ›, in *Strategies for Bilateral Research Cooperation : French-German Experiences*, Fraunhofer Verlag, 2013, pp. 5–29.

Zuletzt erschienen

MEGA-Schriftenreihe

Herausgegeben von Isabella Proeller, Silvia von Steinsdorff, Karl-Peter Sommermann, David Capitant, Fabrice Larat

- | | |
|---|--|
| 1 Soutenir l'innovation dans le secteur spatial (2020)
Benoît Michel | 3 Die Neuausrichtung der Clusterpolitik der Europäischen Union im Rahmen der Europa 2020 Strategie und ihre Wirkung in den Mitgliedsstaaten Deutschland und Frankreich (2020)
Simon Lang |
| 2 Die Digitalwirtschaft als Herausforderung für das Wettbewerbsrecht (2020)
Marc Lendermann | |

