

L'innovation de rupture, terrain de jeu exclusif des start-up ?

L'industrie française face aux technologies-clés

Sonia Bellit et Vincent Charlet





Un laboratoire d'idées pour l'industrie

La Fabrique de l'industrie est un laboratoire d'idées créé pour que la réflexion collective sur les enjeux industriels gagne en ampleur et en qualité. Elle est co-présidée par Louis Gallois, ancien président du conseil de surveillance du Groupe PSA, et Pierre-André de Chalendar, président de Saint-Gobain. Elle a été fondée en octobre 2011 par des associations d'industriels (Union des industries et des métiers de la métallurgie, France Industrie, rejoints en 2016 par le Groupe des industries métallurgiques) partageant la conviction qu'il n'y a pas d'économie forte sans industrie forte. Lieu de réflexion et de débat, La Fabrique travaille de façon approfondie et pluridisciplinaire sur les perspectives de l'industrie en France et en Europe, sur l'attractivité de ses métiers, sur les opportunités et les défis liés à la mondialisation.



www.la-fabrique.fr



www.linkedin.com/company/la-fabrique-de-l-industrie/



[@LFI_LaFabrique](https://twitter.com/LFI_LaFabrique)

**L'innovation de rupture,
terrain de jeu exclusif
des start-up ?**



Photo de couverture :
La Roue de la Loi « Dharmacakra »
Provenance : temple de Phra Pathom
(Centre de la Thaïlande)
Art Mên de Dvaravati
Localisation : Paris, musée Guimet - musée national
des Arts asiatiques
Photo © RMN-Grand Palais (MNAAG, Paris) /
Thierry Ollivier

Sonia Bellit, Vincent Charlet, *L'innovation de rupture, terrain de jeu exclusif
des start-up ?*, Les Notes de La Fabrique, Paris, Presses des Mines, 2023.

ISBN : 978-2-38542-122-9
ISSN : 2495-1706

© Presses des Mines – Transvalor, 2023
60, boulevard Saint-Michel – 75272 Paris Cedex 06 – France
presses@mines-paristech.fr
www.pressesdesmines.com

© La Fabrique de l'industrie
81, boulevard Saint-Michel – 75005 Paris – France
info@la-fabrique.fr
www.la-fabrique.fr

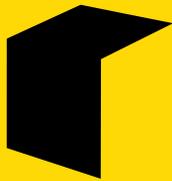
Direction artistique : Franck Blanchet
Couverture et mise en page : Laëtitia Lafond
Dépôt légal : 2023
Achévé d'imprimer en 2023 – Imprimerie Chirat
Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

L'innovation de rupture, terrain de jeu exclusif des start-up ?

L'industrie française face aux technologies clés

Sonia Bellit, Vincent Charlet





Préface

C'est avec grand plaisir que j'ai accepté, en ma qualité de président de l'Académie des technologies mais en m'exprimant à titre personnel, de préfacer cette étude de La Fabrique de l'industrie sur les innovations de rupture.

L'ouvrage examine la position des acteurs mondiaux et des pays correspondants vis-à-vis de douze technologies clés, dites de rupture, à partir des dépôts de brevet, ce qui est une approche originale et très pertinente. Après avoir cerné le caractère disruptif, soit technologique, soit lié aux usages et au marché, l'étude se focalise à juste titre sur le seul secteur industriel, vecteur de déploiement de ces technologies dans la société.

Sans surprise, ces innovations de rupture se concentrent sur les deux plus grands défis auxquels nos entreprises et notre société sont confrontées : la transition écologique et la révolution numérique. L'évolution dramatique de l'environnement mondial nous fait prendre conscience que ces transitions doivent s'accompagner d'une reprise en main de notre destin industriel et technologique, pour mieux assurer la résilience de notre économie et de notre système social, face aux multiples menaces militaires, sécuritaires, économiques, sanitaires, alimentaires... du fait desquelles l'inattendu est devenu la règle, et la crise l'ordinaire.

Dans ce contexte seule une industrie forte, couplée à une recherche forte, permet de se prémunir, à court, moyen et long terme, des aléas de l'histoire et de pérenniser le modèle démocratique et social de notre pays et de notre Europe. Les révolutions énergétiques et numériques sont à cet égard aussi bien des défis que des opportunités.

Bien entendu, cet enjeu ne repose pas seulement sur les technologies et les innovations ; notre académie, fidèle à sa devise « Pour un progrès raisonné, choisi et partagé » a récemment souligné, dans un avis sur la « Sobriété » que si les technologies sont indispensables pour relever ces défis, elles n'y suffiront pas et doivent être accompagnées de changements de comportements et de valeurs.

Il n'empêche *qu'un certain niveau de maîtrise des technologies clefs, qui constituent le vecteur de ces transitions, est un socle indispensable pour assurer notre avenir de société développée* ; et c'est tout l'intérêt de cet ouvrage que de situer notre pays et notre continent par rapport à cet enjeu.

Bien entendu, le dépôt de brevet n'est pas le seul indicateur de performance d'un laboratoire ou d'une entreprise. Pour observer une réalité récente, les auteurs se sont fondés sur l'analyse des *dépôts* de brevets, car celle des brevets acceptés et de leur extension aurait retardé l'observation de plusieurs années ; il est certain que ces brevets déposés n'ont pas tous la même valeur et que beaucoup se trouveront ultérieurement refusés ou contournés. De plus la valeur des brevets n'est pas le seul critère de réussite d'une innovation : l'excellence opérationnelle et l'accès au marché sont également des déterminants du succès. Mais, face à la multiplicité des situations et des paramètres, le choix fait par les auteurs est solidement fondé et réellement éclairant.

Le constat ainsi obtenu est très intéressant mais quelque peu inquiétant.

La France, contrairement aux États-Unis, Chine, Japon Corée et Allemagne, n'apparaît *jamais parmi les quatre premiers pays* dans chacun des douze segments étudiés. Notre pays occupe les rangs 5 à 9, avec une concentration autour de 6 ou 7.

Ceci est évidemment préoccupant mais peut être relativisé en relevant qu'il est aussi la 7^e économie mondiale et la 8^e puissance industrielle. Ainsi, l'ouvrage sort de l'image d'Épinal d'une France devenue un nain industriel pour le redressement de laquelle il serait trop tard pour agir. Mais il faut agir ! La performance, soulignée par l'étude, de la Corée du Sud est instructive à cet égard.

L'Europe se positionne bien mieux, étant dans les 4 premiers pour 11 technologies ; seule manque la nanoélectronique. Ce second constat, aussi consolant qu'il soit, n'est pas totalement rassurant car notre Europe n'est pas une entité intégrée, et encore moins souveraine, et ne peut donc pas user de cette force à l'instar des autres puissances.

Une analyse fort pertinente est celle relative au *degré de spécialisation* des différents pays ; autant on peut comprendre que de très grands pays comme les États-Unis et la Chine sont présents dans tous les segments, autant on peut être surpris de voir la France, puissance moyenne, comme étant peu spécialisée, contrairement à la Corée ou au Japon, qui trouvent là une clef de leur performance. Sans doute retrouve-t-on ici l'héritage historique d'une France gaullienne ne voulant dépendre de personne, mais s'essouffant aujourd'hui dans un contexte de mondialisation et de multiplication des technologies : on ne peut plus ambitionner d'être bon partout. Une dépendance européenne étant aujourd'hui bien plus acceptable, une stratégie optimale, quoiqu'un peu simplificatrice, serait d'ambitionner pour notre continent un positionnement de premier plan dans tous les secteurs, s'appuyant sur une spécialisation par pays, faisant du nôtre un leader dans un nombre suffisant de segments.

Dans l'ensemble du monde, les dépôts de brevets sont très majoritairement le fait des entreprises, par rapport aux laboratoires publics. La France présente ici une singularité : la part des laboratoires, tout en restant minoritaire, y est beaucoup plus importante que dans les autres pays. Ceci traduit à la fois la bonne performance relative des laboratoires publics français, par rapport à la recherche publique mondiale, sur le plan des dépôts de brevets et la sous-performance des industriels français... lorsqu'il en existe dans le domaine considéré. Ce constat peut trouver son origine dans la puissance de nos grands organismes de recherche technologique ; peut-être aussi dans leur politique de conservation de la propriété de leur brevet, même après transfert de leur exploitation à une entreprise, nouvelle ou existante.

Contrairement à l'idée très répandue que les start-up ont pris le pas sur les grandes entreprises en matière d'innovations de rupture, cette étude montre que celles-ci sont majoritairement le fait d'entreprises *établies*, surtout parmi les plus grandes, fortement soutenues par leur État. En fait les mécanismes de développement des innovations de rupture sont très différents d'un domaine à l'autre (rôles respectifs des grands groupes, des start-up, et de la recherche publique...). Il faut donc adapter les outils à cette diversité, et encourager chaque écosystème à travailler en réseau.

L'étude présente pour chaque technologie une analyse des positions mondiales et des catégories d'acteur dominantes, qui est très éclairante pour élaborer *une stratégie de redéveloppement de l'industrie adaptée à chaque domaine*. Enrichie par des éclairages d'experts très pertinents, elle montre combien les rôles des divers acteurs diffèrent selon les domaines technologiques, mais évoque aussi les instruments utilisés pour aider ces acteurs (laboratoires publics, start-up, PME, grands groupes) à mieux travailler ensemble.

Basé sur des observations juste antérieures au lancement du grand plan France 2030, auquel notre académie apporte son éclairage, cet ouvrage fournit ainsi des analyses précieuses pour aider la puissance publique à adapter les objectifs et les modes d'action de ce plan, pour chaque domaine. La prise de conscience de la position médiocre de la France et de sa relative dispersion devrait sans doute nous inciter à focaliser davantage cet effort sur les secteurs où notre retard relatif a le plus de chances d'être comblé.

À sa place, l'Académie des technologies doit tenter d'y contribuer et pourra utilement s'appuyer sur les analyses présentées ici.

Dernière remarque : à l'inverse de la tendance de certains pays, relevée dans le rapport, un tel ciblage de ce (nouveau) mode d'action publique ne signifie pas pour autant qu'il faille abandonner les soutiens « horizontaux » tels que le crédit impôt recherche ou les pôles de compétitivité, en France. Ces derniers s'adressent au tissu existant d'entreprises industrielles de tous ordres, dont le maintien et le développement sont tout aussi nécessaires que les percées dans des domaines nouveaux, objet de cet ouvrage.

Certaines, hors du champ de cette étude, se situent au tout premier plan mondial (aéronautique, espace, défense, transports terrestres, nucléaire, etc.). Leur réussite est un encouragement à nous positionner résolument, et à rattraper notre retard, dans les nouveaux secteurs « de rupture », objets de ce remarquable ouvrage.

Denis Ranque
Président de l'Académie des technologies

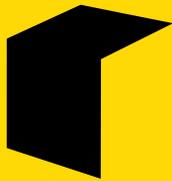
Remerciements

Cette étude doit beaucoup aux données de l'Observatoire des sciences et techniques, et à leur exploitation rendue possible grâce à un lourd travail de bibliométrie de brevets réalisé par son équipe. Nos remerciements les plus chaleureux vont à Luis Miotti et à Mounir Amdaoud, ainsi qu'à Frédérique Sachwald et à Dominique Guellec pour leur implication et la qualité de leurs conseils.

Cette étude a par ailleurs bénéficié du soutien généreux de la fondation Breakthrough Energy, représentée par Julia Reinaud et Pénélope Le Menestrel, auxquelles nous exprimons toute notre gratitude pour leur intérêt pour notre travail et leur appui.

D'autres encore nous ont aidés tout au long de ce travail : Cleantech for France, les représentants des entreprises entendus en entretien et, bien sûr, l'équipe interne de La Fabrique de l'industrie.

Toute étude est un travail collectif et nous vous savons gré de vos apports, nombreux et décisifs.



Résumé

Cet ouvrage s'attache dans un premier temps, sur la base d'une recherche documentaire et d'entretiens avec des experts, à définir l'innovation de rupture dans le secteur industriel. Nous considérons comme telles les activités qui relèvent à la fois d'une performance technologique, y compris lorsqu'elle est incrémentale, et d'un usage radicalement nouveau sur le marché. Sont donc exclues de notre champ d'analyse des entreprises réputées disruptives comme Doctolib, Facebook ou BlaBlaCar qui n'appartiennent pas au secteur industriel et qui, surtout, ont transformé le marché sans être à l'origine d'une innovation au sens technologique du terme.

Partant de cette définition, nous identifions douze innovations de rupture, toutes mentionnées dans des rapports d'experts de haut niveau, et dont huit sont directement liées à la préservation de l'environnement et à la lutte contre le dérèglement climatique. Dans le secteur industriel, il existe en effet une myriade de solutions aux problèmes posés par la transition énergétique, parmi lesquelles figurent notamment l'hydrogène décarboné, les batteries pour véhicules électriques ou encore l'acier bas carbone.

Où naissent ces innovations de rupture aujourd'hui, sur quels continents et dans quels types d'institutions ? C'est la question centrale à laquelle nous essayons de répondre dans cet ouvrage, sur la base d'un travail de bibliométrie de brevets et d'entretiens. L'enjeu pour les États est non seulement de répondre aux grands défis sociétaux mais aussi de ne pas prendre de retard face à leurs homologues, dont certains n'hésitent pas à soutenir lourdement « leurs » entreprises pour dominer des secteurs clés. Il apparaît en effet clairement que la maîtrise des technologies est nécessaire, sinon suffisante, à la défense des intérêts nationaux sur la nouvelle scène mondiale.

De ce point de vue, les pays européens accusent un retard important vis-à-vis des champions mondiaux, selon nos observations : hormis l'Allemagne, qui figure parmi les quatre premiers déposants mondiaux de brevets dans la moitié des domaines technologiques étudiés, les autres pays européens comptent rarement parmi les leaders. La France n'apparaît pour ainsi dire jamais parmi les pays les plus actifs dans les douze domaines de notre échantillon. Face à l'Europe, une poignée de quatre pays, États-Unis, Chine, Japon et Corée du Sud, occupent très souvent les premières places du podium.

Leur domination est d'autant plus frappante qu'ils concentrent systématiquement au moins la moitié des brevets déposés dans le monde et parfois jusqu'aux trois quarts (on ne tient compte ici que des brevets déposés dans au moins deux offices nationaux, autrement dit ceux qui ont une portée inventive reconnue et ne se limitent pas à un rôle purement défensif).

Lorsqu'on raisonne à l'échelle de l'Union européenne, on obtient des résultats plus encourageants : dans la quasi-intégralité des domaines technologiques étudiés, le rang mondial de l'Union européenne varie entre la première et la deuxième place du podium. Elle se distingue particulièrement dans le domaine des éoliennes en mer avec près des deux tiers des brevets déposés au cours de la décennie étudiée. Dans les autres domaines, l'Union européenne ne détient jamais plus de la moitié des brevets, contrairement aux États-Unis qui conservent une large avance dans les domaines de l'ordinateur quantique et de l'ARN messenger. Il convient, par ailleurs, de souligner que le leadership de l'Union européenne tient essentiellement à celui de quelques pays, dont l'Allemagne qui tient le haut du pavé. La France ne joue pas de rôle significatif en la matière. En outre, on rappelle que la Corée ou le Japon peuvent parfois faire jeu égal à l'Union européenne toute entière.

L'ouvrage étudie aussi les apports respectifs des acteurs publics et privés. Chaque année, la grande majorité des brevets relatifs aux innovations de rupture sont déposés par des entreprises. La recherche publique occupe très souvent une place modeste, où qu'elle soit dans le monde. Les cas les plus emblématiques de cette domination quasi exclusive des entreprises sont les batteries pour véhicules électriques et l'hydrogène décarboné : elles sont à l'origine de plus de 90% des dépôts de brevets tout au long de la période étudiée, entre 2010 et 2019. À l'inverse, la recherche publique fait parfois figure de pionnière, à l'instar du domaine de l'ARN messenger, où elle était à l'origine de la moitié des dépôts de brevets en 2010, pour n'en représenter plus qu'un tiers en 2019. Il est par ailleurs intéressant de noter que la recherche publique est relativement plus représentée parmi les déposants américains, chinois et, bien plus encore, parmi les déposants français.

Ainsi, la recherche publique peut jouer un rôle incontournable dans l'initiation des innovations de rupture. Le cas français est particulièrement saisissant dans la mesure où le rang tenu par les laboratoires publics et les universités est nettement plus honorable que celui des entreprises. Parmi les sept technologies pour lesquelles nous disposons de données détaillées, les laboratoires français représentent entre 9 et 14% de l'ensemble des brevets issus de la recherche publique dans le monde, ce qui les place le plus souvent au quatrième rang mondial, au troisième rang pour le photovoltaïque et au cinquième pour la spintronique. Il faut dire que la recherche publique française peut s'appuyer sur des

établissements comme le CNRS ou le CEA, qui apparaissent souvent dans le trio de tête des déposants français, le CEA ayant la spécificité de réaliser une activité de recherche fondamentale tout en développant des liens étroits avec les entreprises. Pour autant, et c'est là que le bât blesse, la transmission de connaissances entre laboratoires publics et entreprises n'est pas suffisante. Par exemple, dans les domaines de l'ARN messenger, de la nanoélectronique et de la spintronique, les dépôts de brevets en France sont quasi exclusivement le fait des laboratoires publics et des universités. L'objectif des pouvoirs publics est alors de trouver les meilleurs moyens d'encourager l'effort privé de R&D : renforcement de la recherche fondamentale, développement de nouveaux instruments visant à rapprocher les laboratoires des entreprises, encouragement à l'essaimage...

Cet ouvrage porte, pour finir, un regard sur les rôles respectifs des start-up et des grandes entreprises dans l'avènement des innovations de rupture. Depuis que la planète entière s'en est remise aux vaccins à ARN messenger, il n'est en effet plus un seul secteur d'activité qui ne redoute de se faire tôt ou tard « désintermédiaire » par des start-up triomphantes. L'analyse bibliométrique montre en réalité que, d'un domaine technologique à l'autre, la dynamique d'innovation n'obéit pas aux mêmes schémas, et qu'elle ne se résume pas à une alternative entre les archétypes schumpétériens « Mark I » (dans lequel les innovations de rupture sont apportées par des nouveaux entrants de petite taille acceptant de prendre de gros risques) et « Mark II » (dans lequel les entreprises historiques maintiennent leur avance technologique en capitalisant sur leurs connaissances antérieures). En France, comme à l'international, les start-up comptent rarement parmi les principaux déposants de brevets sur les douze domaines ici étudiés. Certes, elles peuvent se distinguer dans certains domaines. Mais cela reste une situation assez minoritaire, qui ne s'observe d'ailleurs qu'aux États-Unis, en Chine et – bien plus modestement – en France, mais jamais en Corée, au Japon ni en Allemagne. Les grandes entreprises figurent donc très souvent comme les pourvoyeuses leaders d'innovations de rupture, dans tous les domaines et dans tous les pays... sauf en France.

Préface	5
Remerciements	9
Résumé	11
Introduction	17

Chapitre 1

Les innovations de rupture : un ensemble hétérogène	21
Les ruptures peuvent survenir dans les technologies ou dans les usages	21
Les politiques publiques de plus en plus guidées par les grands défis humains	23
Un échantillon de douze innovations de rupture, représentatives de cette diversité	26

Chapitre 2

L'Asie et les États-Unis dominant les dépôts de brevets de manière écrasante	37
La France et l'Europe largement absentes du palmarès	37
Un regard complémentaire par le biais des indices de spécialisation	39
Un décrochage français ?	41
L'Union fait la force ?	44
Entre public et privé, une répartition propre à chaque technologie	46

Points de vue

Les trajectoires de l'innovation – M. HO	59
---	-----------

Chapitre 3

Le rôle discret mais déterminant de la recherche publique 65

Une intervention publique nécessaire 65

À la recherche des courroies de transmission efficaces 68

Points de vue

L'innovation ouverte au service du secteur de la Défense – M. SIRAPIAN 81

Chapitre 4

Les rôles complémentaires des start-up et des grands groupes 85

Deux régimes d'innovation opposés coexistent 85

De la théorie à la pratique : sans grande entreprise, pas de start-up 90

Réussir l'appariement des « locomotives » et des « wagons » 106

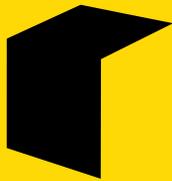
Points de vue

L'innovation entrepreneuriale : une nouvelle frontière ? – C.DESHAYES 111

Conclusion 115

Bibliographie 119

Annexes 123



INTRODUCTION

Pendant près de vingt ans, entre 1990 et 2010 environ, on a appelé « paradoxe européen » la difficulté manifeste avec laquelle les économies européennes tentaient de rattraper leur retard en matière de développement technologique et d'innovation au regard du leader historique américain, tandis que les laboratoires de recherche du Vieux Continent contribuaient honorablement à l'avancement des connaissances.

Cette idée selon laquelle nos performances technologiques ne seraient pas à la hauteur des capacités contributives de nos équipes scientifiques, toute controversée qu'elle soit, est un schème ancien que l'on retrouve non seulement comme pierre angulaire des politiques communautaires de R&D¹ depuis le début des années 1990, mais aussi dans des déclarations politiques françaises bien antérieures encore (voir par exemple le discours de François Mitterrand en clôture des journées de travail sur la politique industrielle en novembre 1982²).

Cela fait, par conséquent, au moins cinquante ans que les politiques européennes, et particulièrement françaises, reposent sur cette idée d'un retard par rapport aux grandes puissances mondiales en matière d'innovation. Par effet de vases communicants, plus la recherche publique est tenue pour excellente, plus la capacité des entreprises européennes à proposer au marché des solutions innovantes est jugée décevante au regard du poids économique de nos pays.

On notera que ce complexe d'infériorité se manifestait déjà bien avant l'entrée de la Chine dans l'OMC et son accès au statut de nouvelle superpuissance mondiale, et également avant la chute du bloc soviétique et la fin de la guerre froide, pendant laquelle les efforts publics de R&D étaient pourtant lourdement déterminés par des objectifs régaliens et, moins qu'aujourd'hui, par la recherche de débouchés économiques. À l'évidence,

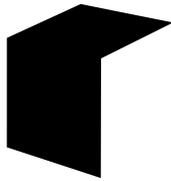
1. Green Paper on innovation. Document drawn up on the basis of COM(95) 688 final. *Bulletin of the European Union Supplement* 5/95.

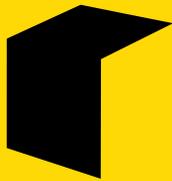
2. Mitterrand (1982).

ce complexe n'a fait que se renforcer depuis. L'incapacité chronique à se doter d'un écosystème de start-up «à la bonne échelle» et, plus encore, l'incapacité à faire émerger un «Google français» ou un «GAFAM européen» en sont restées les formulations les plus célèbres et les plus récurrentes.

Dans les mois qui ont suivi la pandémie de Covid-19, le triomphe planétaire de la société Moderna et du vaccin à ARN messager qui l'a propulsée, ajouté au succès, plus ancien et à peine moins rapide, de Tesla en matière de mobilité décarbonée, ont réactivé ce questionnement, en des termes légèrement renouvelés. Où donc les innovations de rupture naissent-elles aujourd'hui ? Et que peut-on dire des capacités respectives des grandes entreprises, des start-up et de la recherche publique, tout particulièrement en France, à apporter au marché les innovations de rupture dont il a besoin, face à l'urgence pressante de trouver des solutions industrielles aux problèmes posés par les transitions énergétique et numérique ?

Telles sont les questions auxquelles tente de répondre le présent ouvrage, sur la base d'un travail approfondi de bibliométrie de brevets et d'entretiens. Le premier chapitre est consacré à la constitution d'un échantillon de douze technologies témoins. Le chapitre 2 dresse une cartographie des principaux pays dans lesquels ces technologies de rupture sont développées, illustrant au passage un retard manifeste des pays européens. Le chapitre 3 se penche sur le rôle discret mais déterminant de la recherche publique dans l'émergence de ces technologies de rupture. Le chapitre 4, enfin, étudie les rôles respectifs des grandes entreprises et des start-up en la matière.





CHAPITRE 1

Les innovations de rupture : un ensemble hétérogène

Les ruptures peuvent survenir dans les technologies ou dans les usages

Technologie et innovation ne se recoupent que partiellement

L'objet de cet ouvrage est de comprendre où naissent les grandes disruptions technologiques³ de la décennie. La première étape consiste ainsi à se doter d'un échantillon témoin, pertinent et représentatif, de technologies qui pourront ensuite être analysées dans le détail.

Technologie et innovation ne sont certes pas synonymes. On appelle « technologies de rupture » des technologies ou des combinaisons de technologies qui se démarquent radicalement des technologies existantes, reposant souvent sur des investissements importants pour des marchés encore incertains et en début de développement⁴. L'innovation de rupture recouvre quant à elle un périmètre plus large, parce qu'elle ne se fonde pas nécessairement sur des technologies complexes : elle englobe à la fois des innovations de produit, de procédé et d'organisation qui bouleversent les usages et créent de nouveaux marchés⁵. Ainsi, des entreprises telles que Facebook ou Twitter ont transformé le marché sans être à l'origine d'une innovation technologique : elles ont au contraire tiré parti de

3. Tout au long de cette étude, les termes « innovation de rupture », « innovation radicale » ou encore « disruption technologique » seront utilisés de façon indifférenciée.

4. Source : Conseil de l'innovation.

5. Dans son livre publié en 1997, *The Innovator's Dilemma*, Christensen distingue deux types d'innovation : l'innovation de rupture vers le bas du marché et l'innovation de rupture vers de nouveaux marchés. Nous nous concentrons ici sur la seconde. Plus tard, dans son ouvrage publié en 2013, *The Innovator's Solution*, il considère que c'est moins la technologie que l'usage qui a un effet de rupture.

technologies disponibles, quitte à intensifier leur effort de R&D par la suite. Réciproquement et par définition, une invention fût-elle technologique ou radicalement novatrice n'est appelée « innovation » qu'au moment où elle rencontre son marché, ce qui ne se produit pas toujours. Il n'y a donc pas de relation biunivoque entre les deux termes.

Pourtant, force est d'admettre que dans le secteur industriel, et plus encore dans l'industrie lourde, la performance technologique est souvent un préalable à l'innovation de rupture. Rappelons à cet égard que le secteur manufacturier français est à l'origine de l'essentiel des dépenses intérieures de R&D des entreprises (68 % en 2020⁶), que la moitié de cet effort repose sur quatre branches seulement : les industries automobile (12 %), aéronautique et spatiale (10 %), pharmaceutique (8 %) et chimique (5 %). En particulier, les solutions industrielles innovantes qui concernent la transition énergétique (hydrogène vert, stockage d'énergie, acier bas carbone, etc.) requièrent souvent une longue phase de recherche et développement avant d'entrer sur le marché – bien plus longue que pour les solutions des services numériques purs.

C'est pourquoi étudier la dynamique des innovations de rupture émanant du secteur industriel revient à combiner les approches *technology push* et *market pull*. En d'autres termes, il s'agit de porter un intérêt aux

produits qui relèvent à la fois d'une performance technologique, y compris lorsqu'elle n'est pas radicale, et d'un nouvel usage sur le marché⁷.

Une frontière ténue entre les innovations de rupture et les autres

Dans tous les cas, l'innovation dite « de rupture » s'oppose par définition même à l'innovation incrémentale. On peut avoir l'impression que la rupture a un caractère soudain, tandis que l'innovation incrémentale se produirait par amélioration continue de technologies ou de produits existants. Pourtant, comme le souligne Benjamin Cabanes, chercheur en sciences de gestion à Mines Paris – PSL, « *la frontière est ténue entre innovation radicale et incrémentale* » : un assemblage d'innovations incrémentales peut donner lieu à une rupture et, à l'inverse, l'innovation de rupture peut provoquer à sa suite une série d'innovations incrémentales.

Dans l'industrie plus que dans les autres secteurs, l'innovation est en effet souvent le fruit d'une lente accumulation graduelle de connaissances et implique une amélioration continue de produits avant que ceux-ci ne viennent disrupter le marché. Ainsi, le GPS (*Global Positioning System*) qui équipe aujourd'hui les téléphones et les voitures résulte de l'amélioration continue d'un système de positionnement par

6. Source : ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, DGRI-DGESIP (2023).

7. Partant de cette définition, les innovations de rupture issues du numérique (Facebook, Doctolib, BlaBlaCar, etc.) sont exclues du champ d'analyse puisqu'elles ne sont pas à l'origine d'une innovation au sens technologique du terme.

satellite utilisé initialement dans les premiers sous-marins nucléaires aux États-Unis. De même, dans le secteur automobile, certains systèmes d'aide à la conduite comme la technologie du *start and stop*, mécanisme d'arrêt et de redémarrage automatique du véhicule, ont bouleversé les habitudes de conduite et peuvent en cela être considérés comme une rupture. Aussi radicale soit-elle, l'innovation ne saurait donc être réduite à un « éclair de génie ».

Le caractère radical d'une innovation peut aussi naître du croisement de plusieurs domaines. Selon le rapport *Génération DeepTech* de Bpifrance (2019)⁸, la maîtrise de l'interdisciplinarité est propice à l'émergence de nouveaux produits en rupture avec ceux du marché. À titre d'exemple, l'entreprise Carbios, seule entreprise au monde à faire du recyclage enzymatique de plastique, est, selon son dirigeant Emmanuel Ladent, « *le mariage de deux sciences qui n'étaient pas destinées à se rencontrer : la biologie et la plasturgie* ». Selon lui, « *il fallait marier ces deux sciences pour que ça fonctionne* ». Ainsi, on voit souvent émerger l'innovation de rupture à partir de projets pluridisciplinaires, organisés dans le cadre de partenariats entre laboratoires de recherche et entreprises.

Les politiques publiques de plus en plus guidées par les grands défis humains

La deuxième grande question soulevée au moment de constituer un échantillon de technologies témoins est de déterminer leur objet, leurs finalités. Depuis qu'elles existent sous leur forme contemporaine et institutionnalisée, soit à partir des années 1940, les politiques publiques de recherche et d'innovation sont réparties entre la poursuite d'objectifs régaliens, le soutien à la compétitivité des entreprises et la résolution de grands défis sociétaux (en plus naturellement de l'avancement général des connaissances et de la formation par la recherche)⁹. La liste de ces grands défis sociétaux a évolué d'une décennie à l'autre, mais on y retrouve depuis plusieurs années les transitions écologique et numérique, la santé, la sécurité alimentaire et la souveraineté technologique.

La conception des outils proprement dits permettant d'atteindre ces objectifs de manière sûre ou efficace a fait l'objet d'une très abondante littérature et de nombreux arrangements institutionnels : organismes généralistes, agences dédiées, grands programmes finançant des filières industrielles ou directement des opérateurs privés, soutien à la recherche fondamentale d'excellence, encouragement à l'essaimage de start-up à partir de laboratoires publics... Tout ou presque a été envisagé et défendu, dans

8. Disponible en ligne sur le site de Bpifrance.

9. Larédo et Mustar (1994).

tous les pays de l'OCDE, pour accélérer l'avènement d'innovations de rupture.

Ces modulations ont découlé à la fois de considérations endogènes sur la nature des connaissances et du progrès technique (cf. encadré ci-contre), et également d'une pression extérieure plus ou moins forte, de la part des autorités législatives ou de régulation, sur les dépenses publiques considérées comme acceptables¹⁰. Elles ont aussi été l'objet d'un débat qui n'a pas perdu en vigueur depuis : qui, des grandes entreprises, des start-up ou des laboratoires publics, doit être particulièrement soutenu pour sa contribution au développement de nouveaux marchés innovants ?

Tous les pays qui, il y a peu encore, rivalisaient de soutien à leur écosystème de *venture capitalism* dans l'espoir qu'émerge enfin un Google national sont en train de revoir leur panoplie d'outils de soutien à la recherche et à l'innovation, devant l'urgence des réactions attendues face au dérèglement climatique ou encore pour tirer les leçons de la pandémie mondiale de Covid-19. Ce n'est pas seulement qu'ils renoncent à privilégier les dispositifs neutres et transversaux comme le CIR ou les pôles de compétitivité ; c'est aussi qu'ils s'affranchissent graduellement de la contrainte, jusque-là impérative, de cantonner leurs

interventions au cadre précompétitif pour ne surtout pas créer de distorsion sur les marchés. Les mêmes agences et ministères publics qui s'évertuaient à ne pas se rendre coupables de *cherry-picking*¹¹ cherchent aujourd'hui par tous les moyens à relever le niveau d'ambition des programmes qu'ils subventionnent, quitte à aider les répondants à s'organiser de sorte que les transformations attendues adviennent « pour de vrai » et le moins tard possible.

C'est ainsi que des stratégies d'accélération ont été mises en place récemment dans de nombreux pays, y compris à l'échelle de l'Union européenne à travers les projets importants d'intérêt européen commun (PIIEC). En France, les cinq grands défis lancés en 2018 par le Conseil européen de l'innovation (CEI) illustrent eux aussi cette orientation politique : faire émerger de nouveaux marchés (*market pull*) en aidant les technologies – de rupture ou non – à répondre à des besoins (*technology push*). Plus important encore, la dernière version du programme d'investissements d'avenir (PIA4) comporte désormais une action « innovation dirigée », visant à accélérer l'innovation dans des secteurs et technologies jugés prioritaires (Larrue, 2023).

10. Voir, par exemple, les débats parlementaires périodiques sur les limites à imposer au crédit impôt recherche (CIR) pour stimuler l'innovation tout en limitant les effets d'aubaine, ou encore la pression de la Commission européenne pour encadrer très strictement les aides de l'Agence de l'innovation industrielle créée en 2005 (Djelalian et Neale-Besson, 2006).

11. Le principal reproche adressé aux politiques d'innovation verticales trop volontaristes (comme aux politiques industrielles d'ailleurs) est qu'elles demandent au décideur de se substituer à la « main invisible du marché » et de décider par avance des entreprises et des solutions techniques que le marché devrait privilégier. Cette décision nécessairement prise en situation d'information imparfaite est à la source de distorsions. Au mieux, selon les détracteurs de ces politiques, la solution retenue par les autorités s'avère sous-optimale (Concorde, Minitel...) ; au pire, elle se conclut assez vite par un échec et un gâchis d'argent public (Landier et Thesmar, 2014).

À la recherche des politiques d'innovation efficaces et sur mesure

À la fin des années 1980, c'est-à-dire à l'approche de la fin de la guerre froide et à l'aube de la révolution des technologies de l'information, Henry Ergas (1986) a ouvert la voie à la promotion des politiques de « diffusion », dont il a constaté qu'elles étaient plus efficaces et plus génératrices de richesse que les politiques orientées « mission » traditionnelles, dédiées aux grands objectifs régaliens. À cette époque, il n'était pas rare en effet de lire que des pays comme la France ou le Royaume-Uni dépensaient inutilement leurs ressources en entretenant des grands programmes technologiques militaires ou aérospatiaux, aux retombées économiques très incertaines, tandis que le Japon et l'Allemagne, que l'histoire avait privés de ces objectifs politiques, tiraient pleinement parti des effets diffusants de technologies transversales comme les TIC ou encore des révolutions attendues dans le domaine du vivant (Autret, 2001). En France, le développement de politiques d'innovation volontairement non ciblées comme le crédit impôt recherche (déplafonné en 2008) ou les pôles de compétitivité (2005) a découlé directement de cette réflexion. On notera que les débats en cours aujourd'hui sur le rétablissement nécessaire de notre souveraineté technologique et sur la mobilisation des politiques d'innovation pour faire face au dérèglement climatique consistent peu ou prou à refaire le chemin en sens inverse.

Voulant dépasser une formulation trop manichéenne de cette réflexion, Dosi (1982) puis Pavitt (1984) ont posé les bases de taxonomies sectorielles montrant que le changement technique évoluait à des rythmes et sous des formes spécifiques dans chaque secteur d'activité, notamment en raison d'arrangements institutionnels propres qui conditionnaient la génération, la circulation et l'appropriation des connaissances. Breschi, Malerba et Orsenigo (2000) ont complété ce travail en proposant l'idée de « régimes technologiques ». Chacun de ces régimes, dont les spécificités tiennent notamment à des caractéristiques intrinsèques des sciences et des industries qu'il englobe, a vocation à être soutenu selon des modalités institutionnelles préférentielles : l'essaimage de start-up pour le logiciel et la pharmacie, les grands programmes verticaux pour le spatial, etc. Ces régimes technologiques se distinguent au premier ordre selon qu'ils se rapprochent de l'un ou l'autre des deux grands archétypes schumpétériens « Mark I » (celui où les outsiders jouent un rôle pionnier dans l'innovation, *via* le mécanisme de destruction créatrice) et « Mark II » (où ce sont au contraire les entreprises établies qui sont les plus innovantes, *via* le mécanisme d'accumulation de connaissances).

Un échantillon de douze innovations de rupture, représentatives de cette diversité

Douze innovations de rupture identifiées dans la littérature

C'est donc sur les innovations industrielles de rupture ainsi définies, et plus particulièrement les innovations orientées vers la résolution des transitions énergétique et numérique, que porte cette étude. Il s'agit de comprendre où elles naissent, par qui elles sont développées et appropriées, afin notamment de mesurer dans quelle mesure les grandes entreprises industrielles françaises y jouent toujours un rôle moteur.

Partant, la première étape a consisté à identifier, sur la base de documents stratégiques¹² et d'auditions d'experts, un échantillon d'innovations de rupture qui présentaient de forts enjeux à la fois sociétaux et technologiques. Dans le secteur industriel, il existe une myriade de solutions qui répondent à ces deux critères et dont le caractère disruptif est déjà bien documenté, sinon avéré. Cette étude se concentre volontairement sur douze innovations de rupture, dont huit sont directement liées à la préservation de l'environnement et à la transition énergétique. En matière de transition bas carbone, certaines ont un caractère disruptif

– puisqu'elles offrent un tout nouveau service – bien qu'elles ne s'appuient pas sur des technologies de pointe mais plutôt sur l'assemblage ou l'optimisation de technologies existantes. Par exemple, le développement de l'hydrogène vert dépend largement de l'optimisation de l'électrolyse, même s'il constitue une rupture dans les secteurs de l'énergie et de la mobilité, et qu'il mérite pour cette raison d'être suivi avec attention.

Chacune de ces douze innovations de rupture a fait l'objet d'une évaluation des enjeux économiques et sociétaux, des technologies prometteuses et des applications possibles (cf. figure 1.1).

Une première mise en évidence des différents régimes technologiques

Sur chacune de ces douze innovations de rupture, un travail de bibliométrie de brevets a été réalisé par l'Observatoire des sciences et techniques (cf. méthode détaillée en annexe). Il est important de noter, pour la bonne compréhension des éléments à suivre, que ne sont comptabilisées ici que les familles de brevets¹³ ayant été déposées dans au moins deux offices nationaux ou internationaux. L'application de ce filtre permet d'écarter les brevets principalement défensifs (très abondants en Chine notamment), dont l'objet est surtout d'ériger

12. Notamment le rapport dit rapport Potier publié en février 2020 (*Faire de la France une économie de rupture technologique*) et le rapport de la Direction générale des entreprises (DGE) (*Technologies clés 2020*).

13. Une famille de brevets est une collection de demandes de brevets qui couvrent le même contenu technique ou un contenu technique similaire. Au sein d'une famille, les demandes sont reliées entre elles par des revendications de priorité. Source : epo.org.

Figure 1.1 – Présentation des douze innovations de rupture

Innovation de rupture	Défis économiques et sociétaux	Technologies prometteuses	Finalités, applications
Hydrogène pour les transports	Avec 31 % des émissions nationales en 2018, le transport routier représente le principal poste des émissions de gaz à effet de serre. Objectif de neutralité carbone en 2050.	Pile à membrane échangeuse de protons (PEM); cellule d'électrolyse à oxyde solide (SOEC ou SOFC).	Décarbonation des moyens de transports : véhicule particulier, poids lourd, train, bateau, avion.
Batteries pour les véhicules électriques	Interdiction de la vente de véhicules à moteurs thermiques d'ici à 2035. Forte dépendance au cobalt et au nickel pour la production de batterie.	Sodium-ion, lithium-soufre, batterie « solide ».	Électrification du parc automobile, stockage et recyclage des batteries.
Photo-voltaïque	Engagement de la France à porter la part des énergies renouvelables dans sa consommation finale de 20 % aujourd'hui à 40 % en 2030.	Pérovskites, kèsterite, cellules à base de photovoltaïque organique.	Amélioration du rendement énergétiques des panneaux photovoltaïques et de leur durée de vie.
Éoliennes en mer	Engagement de la France à porter la part des énergies renouvelables dans sa consommation finale de 20 % aujourd'hui à 40 % en 2030.	Stockage par air comprimé, systèmes hybrides (aimants bobinés et permanents).	Augmentation du rendement énergétique, stockage de l'énergie produite, moindre dépendance aux terres rares en provenance de Chine.
Recyclage des métaux stratégiques	Transition vers l'économie circulaire, réduction de l'empreinte environnementale. Forte dépendance aux matières premières étrangères.	Hydrométallurgie, traitement par eau supercritique.	Récupération des métaux contenus dans les produits électroniques.
Carburants durables pour le secteur aérien	Le transport aérien contribue à hauteur de 2 à 3 % des émissions mondiales de CO ₂ .	Carburants produits à partir de micro-organismes, e-carburants.	Réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien, amélioration du rendement des SAF (sustainable aviation fuels).

Les membres du conseil d'orientation de La Fabrique

La Fabrique de l'industrie est dotée d'un Conseil d'orientation, organe consultatif, qui veille à la qualité scientifique, à la pertinence et à l'originalité des travaux menés, à la diversité et à l'équilibre des points de vue. Les membres du Conseil y participent à titre personnel et n'engagent pas les entreprises ou institutions auxquels ils appartiennent. Leur participation n'implique pas adhésion à l'ensemble des messages, résultats ou conclusions, portés par La Fabrique de l'industrie.

À la date du 15 septembre 2023, il est composé de :

Gabriel ARTERO, président d'honneur de la Fédération de la métallurgie CFE-CGC,

Vincent AUSSILLOUX, chef du département économie-finances de France Stratégie,

Hervé BAUDUIN, président de l'UIMM Lorraine,

Michel BERRY, fondateur et directeur de l'école de Paris du management,

Jean Michel BEZAT, journaliste au quotidien Le Monde,

Augustin BOURGUIGNAT, chargé de mission au Crédit Mutuel Alliance Fédérale,

Pierre-André de CHALENDAR, président du groupe Saint-Gobain, co-président de La Fabrique de l'industrie,

Marc CHEVALLIER, rédacteur en chef d'Alternatives Économiques,

Carole CHRÉTIEN, directrice des relations entreprises au CNRS,

Patricia CRIFO, professeure à l'École Polytechnique et chercheuse au CREST (CNRS),

Philippe DARMAYAN, ancien président d'ArcelorMittal France,

Stéphane DISTINGUIN, fondateur et président de Fabernovel, président du pôle de compétitivité Cap Digital,

Flora DONSIMONI, directrice générale de l'Institut de l'Entreprise,

Elizabeth DUCOTTET, PDG de Thuasne,

Pierre DUQUESNE, ancien ambassadeur, chargé de la coordination du soutien international au Liban,

Olivier FAVEREAU, professeur émérite en sciences économiques à l'université Paris X,

Denis FERRAND, directeur général de Rexecode,

Jean-Pierre FINE, secrétaire général de l'UIMM,

Louis GALLOIS, ancien président du conseil de surveillance de PSA Groupe, co-président de La Fabrique de l'industrie,

François GEEROLF, économiste à l'OFCE et professeur d'économie à Sciences Po,

Frédéric GONAND, conseiller économique de l'UIMM, professeur associé de sciences économiques à l'université Paris-Dauphine,

Guillaume de GOÿS, président d'Aluminium France,

Bruno JAQUEMIN, délégué général d'A3M,

Sébastien JEAN, professeur au Conservatoire national des arts et métiers (CNAM),

Éric KELLER, secrétaire fédéral de la fédération FO Métaux,

Élisabeth KLEIN, dirigeante de CFT Industrie,

Dorothee KOHLER, directeur général de KOHLER C&C,

Éric LABAYE, ancien président de l'École polytechnique,

Emmanuel LECHYPRE, éditorialiste à BFM TV et BFM Business,

Xavier LECOQ, président du syndicat CFE-CGC sidérurgie,

Olivier LLUANSI, associé à Strategy&PWC,

Philippe MUTRICY, directeur de l'évaluation, des études et de la prospective de Bpifrance,

Hélène PESKINE, secrétaire permanente au Plan d'Urbanisme construction architecture au ministère de la Transition écologique,

Philippe PORTIER, secrétaire national de la CFDT,

Grégoire POSTEL-VINAY, ancien directeur de la stratégie à la Direction générale des entreprises, et rédacteur en chef des Annales des Mines,

Joseph PUZO, président d'AXON'CABLE SAS et du pôle de compétitivité Matériaux,

Xavier RAGOT, président de l'OFCE,

Robin RIVATON, investment director – Venture Smart City chez Eurazeo,

Alexandra ROULET, professeure d'économie à l'Insead,

Frédéric SAINT-GEOURS, vice-président du conseil d'administration de la SNCF,

Ulrike STEINHORST, présidente de Nuria Conseil,

Mickaël VALENTIN, associé fondateur d'OPEO,

Pierre VELTZ, ancien PDG de l'établissement public de Paris-Saclay,

Alain VERNA, directeur général de Toshiba Tec Europe,

Dominique VERNAY, président du pôle industrie de l'Académie des technologies,

Jean-Marc VITTORI, éditorialiste au quotidien Les Echos.

Sonia Bellit est Docteure en sciences économiques et cheffe de projet à La Fabrique de l'industrie. Ses travaux portent notamment sur les politiques industrielles, les enjeux de la réindustrialisation et l'industrie 4.0.

Vincent Charlet est le délégué général de La Fabrique de l'industrie. Après une formation d'ingénieur, il s'est consacré à l'analyse des systèmes publics et à la conduite du changement. Il a participé à divers travaux visant à rénover le système de recherche et d'innovation en France, notamment au sein du projet FutuRIS qu'il a dirigé de 2006 à 2011, avant de participer à la création de La Fabrique de l'industrie.

L'innovation de rupture, terrain de jeu exclusif des start-up ? L'industrie française face aux technologies-clés

Depuis que la planète entière s'en est remise aux vaccins à ARN messenger, il n'est plus un seul secteur d'activité qui ne redoute de se faire tôt ou tard « désintermédiaire » par les géants du numérique ou désintégrer par des start-up triomphantes : l'enjeu de la disruption technologique a ainsi pris une acuité nouvelle. C'est en effet par le biais des innovations de rupture qu'une économie anticipe et favorise les grandes transitions qui modèleront la société de demain. C'est également comme cela que les entreprises se distinguent dans un environnement changeant et très concurrentiel. L'enjeu est non seulement d'inventer mais surtout de prendre de l'avance face à des pays étrangers qui n'hésitent pas à soutenir lourdement certaines entreprises pour dominer des secteurs clés.

Si les start-up sont présentées comme un modèle de référence depuis des années, les grandes entreprises françaises sont-elles toujours en mesure de réaliser les ruptures technologiques que les marchés attendent d'elles ? À partir de témoignages et d'une analyse originale de données de brevets portant sur douze domaines technologiques, dont huit concourent à la transition écologique, cet ouvrage permet de saisir la dynamique d'innovation en France, son positionnement technologique et le type d'entreprises impliquées.

Cet ouvrage s'adresse aux dirigeants d'entreprises, décideurs publics, chercheurs, étudiants, ainsi qu'à l'ensemble des lecteurs intéressés par les problématiques de l'innovation en France.

22 €



www.la-fabrique.fr



Presses des Mines



9 782385 421229

ISBN : 978-2-38542-122-9

ISSN : 2495-1706