

PARTIE II

Chapitre 7

La prochaine révolution de la production et les institutions de diffusion des technologies

par

Philip Shapira et Jan Youtie

Manchester Institute of Innovation Research, Alliance Manchester Business School,
Université de Manchester School of Public Policy, Georgia Institute of Technology
Enterprise Innovation Institute, Georgia Institute of Technology

Les institutions chargées de diffuser les technologies facilitent la transmission et l'utilisation des nouvelles connaissances et méthodes pouvant aider les entreprises à adopter de nouvelles technologies de fabrication. Elles permettent également aux entreprises d'atteindre leurs objectifs, qu'il s'agisse de l'amélioration de la rentabilité de la production ou du développement des produits, de la planification stratégique et de la formation. Le présent chapitre s'intéresse aux institutions de diffusion technologique à vocation publique, ainsi qu'aux raisons de leur existence, à leur organisation et aux services qu'elles dispensent. Des études de cas décrivant des approches diverses y sont présentées – notamment les services extérieurs dédiés, les services aux entreprises axés sur la technologie, les centres de technologie appliquée, l'échange d'informations et les mesures d'incitation agissant sur la demande –, ainsi que des pratiques efficaces et un aperçu des activités. L'une des principales suggestions formulées à l'intention des pouvoirs publics souligne la nécessité de prendre davantage conscience que l'avènement généralisé de la prochaine révolution de la production passe par des institutions de diffusion technologique solides, associées à des mesures-cadres complémentaires. Les institutions chargées de diffuser les technologies doivent être encouragées à partager et améliorer leurs pratiques, à établir des partenariats collaboratifs et à répondre à des objectifs de durabilité et de responsabilité. Une attention particulière est requise pour aider les petites et moyennes entreprises (PME) et pallier les insuffisances de l'action publique en matière de diffusion des technologies.

Introduction

Les institutions chargées de diffuser les technologies joueront un rôle essentiel dans le développement de l'utilisation des technologies de production de nouvelle génération. Si ces institutions et les mécanismes connexes sont déficients, et que les entreprises et les systèmes industriels tardent à assimiler et mettre en œuvre efficacement les nouvelles technologies et les nouvelles stratégies, la prochaine révolution de la production pourrait alors ne pas advenir. Cela dit, ces institutions ont aussi besoin de changer et d'innover pour mener à bien cette diffusion de façon efficace et responsable. Le présent chapitre examine la nature et le rôle des institutions chargées de diffuser les technologies, et s'intéresse à la question de savoir comment elles évoluent, et devront peut-être évoluer, pour à la fois accompagner et influencer le développement des technologies de production de nouvelle génération.

Dans les dix ans à venir, les modes de production et d'utilisation des biens manufacturés et des services sont appelés à connaître de profondes transformations (Kagermann, Wahlster et Helbig, 2013 ; Foresight, 2013 ; Buffington, 2016). Les facteurs technologiques de cette « nouvelle révolution de la production » sont notamment les progrès fulgurants réalisés dans le domaine de l'information et des communications (par exemple les données massives, l'informatique en nuage et l'internet des objets), l'essor de la fabrication additive (l'impression en 3D) et numérique, ainsi que l'émergence de bio- et de nanomatériaux offrant de nouvelles fonctionnalités (OCDE, 2016). Des changements devraient également intervenir en parallèle au regard des modèles économiques du secteur manufacturier, avec une évolution vers plus d'ouverture, de flexibilité, de personnalisation, de participation de l'utilisateur, d'interaction ainsi qu'une plus grande attention aux services à valeur ajoutée et à la durabilité. En parallèle, l'organisation, le personnel et la géographie de la production manufacturière devraient évoluer (OCDE, 2010a ; Chesbrough, Vanhaverbeke et West, 2014 ; Wu et al., 2015 ; Prendeville et al., 2016). S'agissant des économies avancées, on espère que la prochaine révolution de la production pourra redynamiser les anciennes régions industrielles et rendre l'industrie nationale plus compétitive en favorisant l'installation d'usines « intelligentes » dotées de l'agilité, de l'efficacité et de l'intelligence nécessaires pour accroître la productivité et éviter le recours à la délocalisation (Alessi et Gummer, 2014 ; Brennan et al., 2015 ; NAE 2015 ; The White House, 2016). En ce qui concerne les économies émergentes, les progrès dans le domaine des technologies et des méthodes de fabrication offrent la possibilité d'avoir des activités de production plus durables et à plus forte valeur ajoutée (Birtchnell et Hoyle, 2014 ; Rauch, Dallasega et Matt, 2016).

Au cours des dernières décennies, les profondes transformations technologiques que l'on prédisait dans l'industrie ne se sont pas toujours réalisées (Youtie et al., 2007). Il s'agit, par exemple, à l'automatisation des usines dans les années 50 ou à la diffusion des machines moléculaires dans les années 80. Les goulots d'étranglement qui limitent – ou tout au moins ralentissent – la diffusion des idées technologiques radicales sont notamment la viabilité économique, le financement, la demande du marché, l'ajustement stratégique nécessaire, le degré de préparation technique et le délai de mise en œuvre, la puissance des technologies

existantes et l'apparition d'innovations inattendues. Les prévisions récentes de transformation technologique dans le secteur manufacturier sont indiscutablement confrontées aux mêmes réalités. De plus, dans les années à venir, les promesses de la nouvelle révolution de la production pourraient tarder à se concrétiser, voire ne jamais l'être, si elles n'apportent pas de réponse à une série de problèmes de fond d'ordre sociétal et institutionnel. Un certain nombre de ces problèmes sont déjà évidents, notamment la crainte que les travailleurs ne soient remplacés par des robots ou que les machines ne prennent seules les décisions, la cybersécurité et la confidentialité des données, les risques pour la population et les préoccupations éthiques concernant certains aspects du génie biologique (voir le chapitre 8, ainsi que l'examen de la question dans OCDE [2016]).

Les institutions chargées de diffuser les technologies jouent un rôle particulièrement important car elles permettent aux PME de se moderniser et de tirer avantage de la transformation de la fabrication. Tout comme la production évolue, la diffusion des technologies devrait évoluer également, car elle devient elle-même plus complexe, fait intervenir un plus grand nombre d'acteurs, s'accélère et prend de l'ampleur. Cette complexité croissante doit inciter à privilégier les approches réticulaires et à redoubler d'efforts pour anticiper et résoudre les problèmes de gouvernance au sein des institutions qui assurent la diffusion des technologies. Si ces dernières peuvent s'adapter et innover, en assumant des rôles permettant de répondre aux questions sociales, économiques et technologiques, elles pourront contribuer à l'avènement de la prochaine révolution de la production en tenant compte des intérêts de la collectivité.

Le présent chapitre s'intéresse aux institutions chargées de diffuser les technologies, aux raisons de leur existence, à leur organisation et aux services qu'elles dispensent. Il porte à la fois sur les institutions existantes et celles nouvellement créées, en mettant plus particulièrement l'accent sur les mécanismes à vocation publique. L'examen s'appuie sur une typologie de ces mécanismes, à savoir : les services extérieurs dédiés, les services aux entreprises axés sur la technologie, les centres de technologie appliquée, l'échange d'informations technologiques, l'évolution des comportements en fonction de la demande et le partage de ressources en accès libre. On y présente des études de cas consacrées à certaines institutions.

Des méthodes visant à encourager la diffusion des technologies ont déjà été testées – intervention d'un agent, mise en relation, tutorat, projets collaboratifs, services d'orientation, par exemple –, qui permettent d'aider les entreprises à adopter et assimiler de nouvelles technologies et méthodes de fabrication. Ces méthodes sont toujours utiles et valables. De nouvelles approches font également leur apparition, notamment le transfert de connaissances en accès libre et le développement des ressources collectives. Certaines institutions de longue date qui adoptent un schéma classique de programmes publics établis pour fournir des services à leurs clients parviennent également à gérer de nouvelles technologies de production et à remplir de nouvelles fonctions. Outre ces modèles existants, on recense de nouvelles institutions chargées de diffuser les technologies qui font généralement leur apparition à la faveur des technologies émergentes et qui servent de mécanismes pour échanger, expérimenter et appliquer des connaissances. Ces deux types d'institutions jouent des rôles importants et complémentaires.

Le chapitre se termine par des recommandations pratiques pour renforcer les institutions de diffusion technologique. Il importe ainsi que les politiques publiques permettent d'intégrer la diffusion des technologies et les institutions correspondantes à la

prochaine révolution de la production. On a tendance – c’est inévitable – à mettre en avant les progrès enthousiasmants de la recherche et le potentiel des technologies novatrices. Or, celles-ci ne produiront de véritable valeur ajoutée pour l’économie et la société que si elles sont conçues de façon responsable et déployées en concertation avec les utilisateurs et les autres parties prenantes, et si elles peuvent être transposées à une plus grande échelle, diffusées et améliorées dans leur utilisation. Les entreprises et les systèmes qui bénéficieront le plus de cette évolution seront ceux qui auront su mettre en œuvre le plus efficacement les nouvelles technologies et les nouveaux modèles économiques. Les responsables politiques sont en général conscients de l’importance déterminante de la diffusion des technologies, mais ont tendance à la négliger ensuite lorsqu’il s’agit d’y consacrer de l’attention et des ressources. Il est important de remédier à cette situation.

Les programmes de modernisation des entreprises existantes (la majorité des entreprises) doivent être dotés de ressources suffisantes, de même que les programmes visant à promouvoir le développement des technologies de pointe et les start-ups. Lorsque les institutions dédiées au déploiement des technologies sont peu développées ou inexistantes, il convient de les réformer ou d’en créer de nouvelles. Il faut également encourager l’expérimentation, l’apprentissage, l’acquisition de nouvelles compétences et la mise au point de nouveaux modèles au sein des institutions chargées de diffuser les technologies. Les enseignements tirés des activités pilotes doivent être pris en compte par ces institutions – nouvelles et existantes. Par ailleurs, les pratiques et les méthodes en matière de prestation de services doivent être systématiquement revues pour vérifier qu’elles sont efficaces et adaptées aux publics visés, qu’elles permettent l’échange de connaissances et qu’elles offrent des possibilités d’évolution en fonction des besoins. Des mécanismes de gestion doivent être mis au point pour réformer (ou remplacer) les institutions de diffusion technologique qui résistent au changement. Certaines pratiques devraient être évitées par les responsables de l’action publique, à commencer peut-être par celle qui consiste à concentrer l’attention et les ressources sur les politiques de soutien aux grandes découvertes et aux technologies de laboratoire attrayantes, en négligeant – ou tout au moins en ne soutenant pas suffisamment – la diffusion des nouvelles technologies et leur transposition à plus grande échelle. De surcroît, les efforts accomplis pour diffuser les nouvelles technologies visent souvent les primo-adoptants traditionnels, qui sont généralement de grandes multinationales, des start-ups de haute technologie et les quelques entreprises spécialisées dans la mise au point des technologies. Or, l’attention des pouvoirs publics ne devrait pas aller uniquement à ces primo-adoptants éventuels, mais aussi aux PME existantes, qui sont nettement plus nombreuses. En fait, le succès de la prochaine révolution de la production dépendra en grande partie de l’adoption des technologies par les PME.

Autre aspect important, il faut engager une réflexion sur le bien-fondé des politiques de soutien aux institutions de diffusion des technologies, qui ne doivent pas être assimilées à des programmes capables de recréer les emplois perdus dans le secteur manufacturier. Les institutions vouées à la diffusion technologique peuvent aujourd’hui aider les entreprises à modifier leurs méthodes de gestion et à renouveler leurs technologies, leurs produits et leurs stratégies. Il faudra du temps pour renforcer la capacité des entreprises manufacturières à absorber les technologies de la prochaine révolution de la production (entre cinq à dix ans, voire davantage). C’est pourquoi il faut donner aux institutions de diffusion des technologies les moyens qui leur permettront de se projeter sur le long terme.

De par son caractère systématique et réticulaire, la prochaine révolution de la production requiert, pour nombre de ses aspects, une étroite coopération entre les fabricants, les

utilisateurs et autres catégories d'acteurs. Entreprises, fournisseurs, utilisateurs et intermédiaires devraient être associés dans des stratégies de diffusion collaborative. Cela signifie que les institutions concernées – qui travaillent souvent seule sur un projet donné – doivent aujourd'hui mettre en place des stratégies et des actions qui peuvent s'inscrire dans un contexte de collaboration entre plusieurs acteurs. Elles doivent aussi répondre à des objectifs de durabilité ainsi que de recherche et d'innovation responsables.

Pour finir, il est indispensable d'examiner et d'analyser en permanence les modèles et schémas d'organisation de la diffusion technologique, en tenant compte du contexte évolutif de la prochaine révolution de la production. Dans cette démarche, les instruments d'évaluation doivent accorder plus d'importance au développement des capacités à long terme qu'aux résultats limités à court terme. Le partage des bonnes pratiques est également primordial. Les actions publiques et les méthodes de gestion doivent inciter les institutions de diffusion technologique à moderniser leurs pratiques et à expérimenter de nouvelles approches prometteuses à mesure que le paysage de l'innovation évolue.

Les institutions chargées de diffuser les technologies et leurs fonctions

Si le terme « technologie » est souvent associé aux machines et aux appareils, le sens à lui donner ici doit être plus large et inclure également l'organisation et l'utilisation pratique des connaissances¹. La technologie peut être matérialisée (dans les machines, par exemple) ou dématérialisée (sous la forme de savoir-faire, de méthodes et de processus). La diffusion technologique peut être considérée comme le processus qui consiste à faire connaître les innovations et les nouvelles technologies, et à en favoriser l'adoption². Elle repose sur des intermédiaires, des structures et des procédures qui facilitent l'adoption, la généralisation et la mise en œuvre de connaissances, de méthodes et de moyens techniques, qu'il s'agisse d'améliorer l'efficacité des installations de production existantes ou d'introduire de nouveaux processus concernant le développement des produits, la planification stratégique et la formation. Une institution dédiée à la diffusion des technologies peut combiner une présence tangible (par exemple, des installations), des capacités (individus, compétences, communications) et des partenariats (avec les développeurs et les utilisateurs des technologies), mais aussi des aspects « immatériels » comme le partage tacite des connaissances via des interactions informelles (spécialistes, autres entreprises).

Un système d'innovation englobe généralement plusieurs vecteurs de diffusion technologique (comme les universités, les organisations professionnelles et les médias), mais le présent chapitre s'intéresse plus particulièrement aux institutions publiques ou quasi publiques – ou à des parties de ces institutions – qui privilégient les tâches de diffusion technologique. Bien qu'elles jouent un rôle important dans le panachage de mesures mises en œuvre par les pays et les régions pour encourager le développement économique et l'innovation (recherche-développement, technologie, aide aux entreprises, capital humain, réglementation et mesures connexes), ces institutions sont parfois sous-estimées. La diffusion technologique est à distinguer du transfert de technologie, même si ces deux pratiques sont liées et peuvent se compléter. On entend par transfert de technologie le passage d'une technologie de son développeur à son utilisateur, le principal exemple (dans le secteur public) étant la création aux États-Unis (en vertu de la loi Bayh-Dole de 1980) de bureaux de transfert de technologie des laboratoires universitaires et fédéraux, qui concèdent aux entreprises des droits d'utilisation de la propriété intellectuelle financée par l'État fédéral³. Dans ce contexte, le transfert de technologies correspond à la cession, dans un cadre contractuel, des droits de propriété sur les résultats de travaux de R-D entre une

organisation publique et un cessionnaire. La diffusion des technologies est plus large dans sa portée et son intensité : outre un éventuel transfert de technologie, elle inclut également un volet communication pour aider les entreprises à utiliser plus efficacement leurs technologies et processus existants, leur fournir des conseils, des compétences et une formation pour qu'elles améliorent leurs capacités d'absorption et leurs performances, et les aider à diagnostiquer et résoudre les problèmes, y compris par l'intermédiaire de projets appliqués.

Les institutions dédiées à la diffusion technologique sont notamment les programmes de vulgarisation industrielle, les services aux entreprises axés sur la technologie, les centres de technologie appliquée, ainsi que les bureaux de transfert de technologie universitaires. Les réseaux, partenariats et collaborations ouvertes jouent également un rôle de plus en plus important dans la diffusion technologique. L'efficacité de ces institutions dépend de la capacité d'assimilation des nouvelles connaissances et des nouveaux services technologiques par les entreprises (Cohen et Levinthal, 1990), ainsi que de l'ampleur de la demande d'innovation et de nouvelles technologies (Edler, 2016). Les institutions chargées de diffuser les technologies contribuent à l'amélioration de la capacité d'assimilation des entreprises, par exemple via la formation, l'échange d'informations et le tutorat. D'autres initiatives visent des objectifs analogues, comme par exemple les chèques-innovation, qui encouragent les utilisateurs potentiels à entrer en contact avec les détenteurs de connaissances ou de technologies (OCDE, 2010b). Par ailleurs, le développement et l'adoption de nouvelles technologies sont influencés par des caractéristiques plus générales des systèmes d'innovation et de réglementation aux niveaux régional et national. Ainsi, Hekkert et al. (2007) recensent sept fonctions connexes du système d'innovation qui sont capitales pour comprendre la dynamique des évolutions technologiques, à savoir : présence d'un entrepreneuriat actif, processus de développement du savoir, réseaux de diffusion des connaissances, conseils, formation du marché, mobilisation de ressources humaines et financières, et orientation en faveur du changement. D'autres analystes mettent en évidence l'importance des dispositifs sociotechniques et des cadres à plusieurs niveaux pour les transitions technologiques (Geels, 2002).

Les systèmes d'innovation présentent des caractéristiques et des besoins différents selon les pays, et varient (y compris au niveau régional) dans l'organisation de leurs fonctions. On peut donc s'attendre à ce qu'il existe, entre et parmi les systèmes d'innovation, des disparités dans la conception et le fonctionnement des institutions de diffusion technologique. Par ailleurs, lesdites institutions peuvent, en fonction de caractéristiques comme leur autorité, leur stratégie, leur portée et leurs relations, avoir de l'influence sur le fonctionnement des systèmes d'innovation, par exemple en prodiguant des conseils sur les nouvelles technologies, en mettant les entreprises en contact avec des sources de financement pour moderniser leurs processus de fabrication, ou en signalant des débouchés commerciaux pour des produits innovants. Les institutions chargées de diffuser les technologies peuvent aussi servir d'intermédiaires en mettant les différentes entreprises en relation avec l'éventail parfois vaste et complexe de programmes et de fournisseurs qui composent les systèmes d'innovation. Elles peuvent entretenir des relations permanentes avec les systèmes d'innovation dont elles font partie, dans le sens où elles recherchent des méthodes de modernisation technologique ayant fait leurs preuves et où elles encouragent les changements, fussent-ils limités. L'importance de ces relations permanentes ne doit pas être sous-estimée : les PME sont souvent lentes à adopter de nouvelles technologies et, lorsqu'elles le font, des considérations relatives aux ressources, aux capacités et à la gestion

des risques militent en faveur d'une approche graduelle. Cela dit, les institutions de diffusion technologique peuvent aussi adopter des stratégies plus ponctuelles, en mettant au point des mécanismes et des méthodes d'innovation particulièrement utiles pour le déploiement des nouvelles technologies les plus importantes, notamment lorsque celles-ci requièrent des modifications du système sociotechnique. Ainsi, pour permettre l'installation de systèmes automatisés dans les usines, l'établissement d'un partenariat entre les utilisateurs, les distributeurs, les clients et les intermédiaires peut être nécessaire pour faciliter la mise en place de nouveaux systèmes de conception numérique et de partage de données, résoudre les problèmes de restructuration de l'emploi et de reconversion du personnel, et introduire des dispositifs de gestion intégrée (notamment des stocks).

Les raisons de l'intervention des institutions de diffusion technologique

Les principaux avantages (et les conséquences) des progrès technologiques apparaissent une fois que les technologies concernées sont diffusées et appliquées⁴. Il s'agit là d'un point essentiel : le débat sur les politiques à mener à l'égard des transformations technologiques émergentes se concentre souvent sur les modèles à venir, ainsi que sur les innovations attrayantes des laboratoires de R-D et quelques prototypes prometteurs. Or, qu'ils soient économiques, environnementaux ou sociétaux, les effets d'envergure d'une technologie ne pourront que s'accroître avec sa diffusion. De plus, la faisabilité et les performances des technologies émergentes – et des modèles économiques qui y sont associés – peuvent être encore améliorées lorsque les enseignements tirés de la diffusion des technologies auprès des utilisateurs et des clients bénéficient aux développeurs par le truchement de processus itératifs de conception, de mise en œuvre et d'expérimentation (Fleck, 1997 ; Govindarajan et Trimble, 2004 ; Baden-Fuller et Haefliger, 2013).

Dans la pratique, cependant, la diffusion des technologies n'est pas simple : de nombreux obstacles et insuffisances peuvent limiter, entraver ou bloquer l'adoption et l'utilisation effective non seulement des technologies et des méthodes de fabrication de pointe, mais aussi des meilleures qui existent déjà. Cela peut, en retour, peser sur les variables clés du processus de fabrication (comme par exemple la productivité, la qualité, le rendement, les pertes, la consommation d'énergie, le temps de réponse, la taille faisable des lots et les coûts), ainsi que sur la capacité à concevoir et développer des produits novateurs, et à produire de la valeur pour les utilisateurs et les clients (encadré 7.1). Des performances sous-optimales au niveau de la fabrication se répercutent non seulement sur les différentes entreprises (et en dernier lieu sur leur survie), mais aussi potentiellement sur les chaînes d'approvisionnement et les secteurs industriels, les pôles d'activité régionaux et la compétitivité de l'économie nationale ; elles peuvent aussi peser sur la capacité d'acquérir, d'assimiler et de déployer de nouvelles méthodes et technologies. Les difficultés de la modernisation industrielle et les conséquences des retards en la matière sont particulièrement visibles dans les entreprises existantes, surtout les PME (NAPA, 2003 ; National Academy of Engineering, 2012). Le recensement des entreprises manufacturières, qui a lieu aux États-Unis tous les cinq ans, montre par exemple que dans les PME (c'est-à-dire les entreprises de moins de 500 salariés), la valeur ajoutée par salarié a été généralement inférieure de 40 % à celle des grandes entreprises pendant la période 1992-2012 (US Census Bureau, 2016). Le rapport de l'OCDE intitulé *The Future of Productivity*, qui compare les entreprises manufacturières de plusieurs pays, met en évidence un écart important, en ce qui concerne l'augmentation de la productivité du travail, entre un groupe d'entreprises d'avant-garde et la majorité des autres entreprises. Les entreprises d'avant-garde – qui sont

généralement plus grandes, plus rentables et plus jeunes – ont enregistré entre 2001 et 2009 une hausse annuelle de la productivité du travail de 3.5 % en moyenne, contre 0.5 % pour celles de la seconde catégorie (OCDE, 2015). La diffusion des techniques et des technologies – qui inclut l'amélioration de la capacité des entreprises et de leurs chaînes d'approvisionnement

Encadré 7.1. **Les retards de la modernisation technologique dans le secteur manufacturier**

Pour quelles raisons les entreprises manufacturières ne sont-elles pas plus nombreuses à se doter de technologies et de processus plus modernes pour repousser les limites de leurs performances et de leur productivité ? Les réponses à cette question sont en général un ensemble d'insuffisances au niveau du marché, de l'action publique et du système. Cela inclut des contraintes qui pèsent sur les facteurs de production et le fonctionnement, comme par exemple le manque d'accès aux capitaux, aux compétences, aux connaissances et aux capacités de gestion, ainsi que des lacunes et des asymétries en matière d'information. Les entreprises (et en particulier les PME) ne possèdent souvent pas les informations, les compétences, la formation, les ressources, la stratégie et la confiance dont elles auraient besoin pour adopter de nouvelles technologies. Les fournisseurs et consultants indépendants peuvent se heurter à des coûts de transaction élevés lorsqu'ils cherchent à faire connaître une technologie auprès d'un grand nombre de petites entreprises. Les institutions publiques comme les universités et les centres de recherche nationaux privilégient souvent les publications, les technologies de pointe en laboratoire, et les start-ups de haute technologie ; les PME existantes trouvent souvent ces institutions compliquées et de commerce difficile, malgré les efforts accrus de ces dernières pour faciliter les relations. Les fonds nécessaires au déploiement à grande échelle et à la mise en œuvre d'une technologie ne sont pas toujours disponibles, ce qui crée un risque de sous-investissement de la part des entreprises. De plus, les entreprises industrielles possèdent des systèmes, pratiques et attitudes qui fonctionnent et déjà bien implantées. Il est souvent difficile d'y apporter des changements. Cela peut être dû aux « pièges des compétences », c'est-à-dire au fait que les entreprises, fortes de leur expertise et leur expérience dans leurs méthodes actuelles, hésitent à changer même s'il existe des méthodes plus efficaces, ou qu'un segment industriel ou une chaîne d'approvisionnement est « bloqué » dans un type d'approche moins performant à cause d'effets de réseau ou de comportements bien ancrés. Point important, le maintien de « pratiques non optimales », qui peut s'expliquer par des habitudes ou des préférences, et l'influence persistante des investissements passés (par exemple des pratiques non optimales inscrites dans une dépendance historique), peut être toujours bénéfique sur le court terme. Mais en perpétuant ces pratiques, les entreprises risquent de limiter leur capacité à évoluer vers des niveaux de performance plus élevés et des capacités plus durables qui leur permettraient d'être compétitives tout en conservant des niveaux de rémunération et des conditions de travail satisfaisants. Certaines entreprises manufacturières, par exemple, continuent d'utiliser des biens de production vieillissants et moins efficaces – en particulier dans les vieilles usines – parce que cela leur coûte moins cher à court terme que d'installer de nouvelles machines, qui offriraient pourtant des possibilités de personnalisation, d'économie d'énergie ainsi que de collecte et d'analyse de données pour améliorer les processus (Hagerty, 2013). Ces problématiques de l'offre peuvent interagir avec les impératifs de la demande, les clients des marchés intermédiaires et finaux étant peu enclins ou lents à déployer des produits innovants issus des nouvelles technologies, là aussi à cause de l'insuffisance du réseau (par exemple, absence de masse critique des utilisateurs), ainsi que d'un manque d'informations, de capitaux et autres ressources (Geels, 2002 ; Edler, 2010, 2016).

à repenser leurs systèmes – peut permettre d'accroître la productivité. Selon le McKinsey Global Institute, 55 % des gains de productivité pouvant être obtenus dans les pays développés proviennent de l'adoption des bonnes pratiques, et 45 % de l'innovation ; les gains provenant de l'adoption des bonnes pratiques sont encore plus élevés dans les économies émergentes et en développement (Manyika et al., 2015).

Les insuffisances publiques et systémiques qui entravent la modernisation industrielle justifient amplement que l'on soutienne les institutions et mécanismes de diffusion technologique. Si certains des obstacles à la modernisation peuvent être levés à l'aide d'instruments financiers indirects (subventions, prêts, incitations fiscales), un aspect essentiel de la mission des institutions de diffusion technologique demeure la fourniture directe de conseils et de services de soutien. Ce type d'aide active et experte est particulièrement importante pour pallier les manques d'informations, mettre fin aux pratiques historiques dépassées, et aider les entreprises et les chaînes d'approvisionnement à mettre au point des stratégies de modernisation. L'appui offert par les institutions de diffusion technologique est axé sur les capacités des entreprises et vise à aider ces dernières à justifier des investissements dans les nouvelles technologies et à les réaliser. Les institutions chargées de diffuser les technologies peuvent aussi travailler avec des segments industriels ou des chaînes d'approvisionnement qui sont « bloqués » dans des modes de fonctionnement figés, et dont l'évolution nécessite la stimulation et le soutien d'une action collective. Pour citer un exemple, la maintenance des processus de fabrication mécaniques peut être négligée jusqu'à ce qu'il y ait une panne ; l'entreprise peut conserver les processus existants parce qu'elle possède des stocks, ce qui facilite la continuité de la production mais accroît les coûts. L'introduction de capteurs et de moyens de communication perfectionnés envoyant en temps réel aux prestataires de services d'entretien des indications précoces sur l'usure des équipements pourrait résoudre ce problème, mais cela nécessiterait une collaboration entre les fabricants des machines, les utilisateurs et les prestataires de services afin qu'ils conviennent de protocoles communs. Une institution de diffusion technologique peut faciliter la recherche d'une solution en concevant un projet collaboratif et en convaincant les principaux utilisateurs de l'adopter, ainsi qu'en fournissant des conseils sur les options technologiques disponibles.

Dans le contexte particulièrement dynamique de la prochaine génération de technologies de production, le traditionnel argument des défaillances du marché prendra sans doute encore plus de poids lorsqu'il s'agira de légitimer les interventions, les utilisateurs potentiels étant mis au défi de faire le tri parmi une masse croissante d'informations et de mûrir une décision dans un contexte où les technologies et les besoins en compétences spécialisées évoluent rapidement. Par ailleurs, il existe sans doute aussi de plus en plus de raisons systémiques majeures pour non seulement soutenir les institutions de diffusion technologique existantes, mais aussi en créer de nouvelles qui soient en adéquation avec les nouveautés en matière de production et les progrès technologiques. Les feuilles de route technologiques comme « Industry 4.0 » en Allemagne et *Synthetic Biology Roadmap* au Royaume-Uni ont contribué à poser les bases des transformations industrielles systémiques et globales. Ces scénarios ne se concrétiseront que si la diffusion des technologies est parfaitement intégrée et mise en œuvre à une échelle suffisante. Or, un grand nombre des institutions existantes ont été façonnées pour le XX^e siècle, lorsque la R-D était conçue de façon linéaire ; la diffusion est venue s'ajouter après coup. L'importance accrue que l'on accorde à la responsabilité dans le domaine de l'innovation et à la nécessité de s'attaquer aux défis mondiaux est une source de difficulté supplémentaire pour les institutions de diffusion technologique. À l'avenir, ces dernières devront être plus engagées

dans des missions qui, non seulement promeuvent la diffusion auprès des différentes entreprises, mais aussi créent des liens avec des réseaux de fournisseurs, d'utilisateurs et de clients. Ces méthodes devront de plus en plus inclure des mécanismes de conception responsable, d'intégration et d'utilisation des technologies émergentes.

Les types d'institutions de diffusion technologique

De manière générale, comme on l'a vu, les institutions de diffusion technologique sont des intermédiaires qui utilisent des structures et des procédures facilitant l'adoption, la diffusion et la mise en œuvre de connaissances, de méthodes et de moyens techniques. Si ces institutions partagent le même défi général de pallier les défaillances du marché, de l'action publique et du système, elles présentent en revanche des différences dans leurs modalités de mise en service, d'organisation et de gestion. Ces différences tiennent d'une part aux lacunes et aux objectifs spécifiques auxquels chaque institution est chargée de s'attaquer, et d'autre part aux disparités nationales, régionales et sectorielles qui existent entre les systèmes d'innovation (contextes, politiques publiques et pratiques). Les institutions de diffusion technologique à vocation publique peuvent être gérées par des universités, des organismes gouvernementaux ainsi que des organisations avec ou sans but lucratif, ou leur être associées. Leurs missions peuvent être axées sur le transfert de technologies de pointe, le déploiement de méthodes connues auprès de nouveaux utilisateurs, ou les deux à la fois. Là encore, selon leur mission et leur orientation, les institutions peuvent travailler – ou être associées – avec des laboratoires de R-D, des centres de formation et de démonstration, ainsi que des espaces d'échange et de rencontre. Bien que la diffusion technologique soit leur objectif central, ces institutions participent souvent à toutes sortes d'activités et de partenariats qui les aident dans leur mission, notamment aux côtés d'organisations actives dans le domaine de l'innovation, la technologie, le secteur de l'entreprise et le développement des compétences.

Malgré les multiples combinaisons possibles de formes et de fonctions, les institutions de diffusion technologique peuvent être classées en plusieurs catégories en fonction de certaines de leurs caractéristiques comme leur approche de la diffusion et leurs activités. Une typologie de six catégories d'institutions a été établie (tableau 7.1), qui comprend notamment les services extérieurs dédiés, les services aux entreprises axés sur la technologie (qui fournissent aux entreprises des compétences spécialisées, des conseils et d'autres ressources) et les centres de technologie appliquée/avancée, qui ont les moyens d'entreprendre de la R-D axée sur les entreprises. Entrent également dans cette typologie les instruments d'échange de connaissances/axés sur la demande – qui servent d'intermédiaires et de moteurs pour la diffusion des technologies –, ainsi que les mécanismes technologiques ouverts, qui représentent de nouveaux procédés, souvent virtuels, pour établir un lien entre le développement des technologies et leur diffusion. Les six catégories d'institutions ne s'excluent pas mutuellement : certains centres de technologie appliquée proposent par exemple des services extérieurs, et les centres de technologie avancée participent à des réseaux de transfert de connaissances. Cette typologie n'est par ailleurs pas exhaustive, d'autres catégories pouvant y être ajoutées. L'éventail des institutions répertoriées permet malgré tout de mettre en évidence la diversité des approches actuelles de la diffusion technologique, de tirer des enseignements sur les approches et les pratiques efficaces, et de voir comment ces institutions font face aux défis que présente la prochaine révolution de la production. Les principales catégories d'institutions sont examinées en détail dans les sections suivantes.

Tableau 7.1. **Typologie des institutions de diffusion technologique**

Mécanismes de diffusion	Nature des activités (principales)	Exemples
Services extérieurs dédiés	Diagnostics, conseils et accompagnement	<i>Manufacturing Extension Partnership</i> (États-Unis)
Services aux entreprises axés sur la technologie	Conseils en rapport avec le financement Développement des capacités	Programme d'aide à la recherche industrielle (Canada) I-Corps (États-Unis)
Centres de technologie appliquée	Recherche contractuelle, recherche appliquée collaborative, prototypage et normalisation	Instituts Fraunhofer (Allemagne) National Network for Manufacturing Innovation (États-Unis) Kohsetshushi Public Technology Centers (Japon)
Centres de R-D ciblée	Recherche sur les technologies émergentes associée à des missions de commercialisation	Campus for Research Excellence and Technological Enterprise (Singapour)
Instruments d'échange de connaissances/ axés sur la demande	Travail en réseau Incitations au transfert de connaissances	<i>Knowledge Transfer Networks</i> (Royaume-Uni) Chèques-innovation (plusieurs pays)
Mécanismes technologiques ouverts	Bibliothèque technologique partagée Réseaux virtuels	<i>BioBricks/Registry of Standard Biological Parts</i> (États-Unis)

Source : Analyse des auteurs.

Les services extérieurs dédiés

Les services extérieurs dédiés travaillent avec les PME pour les aider à adopter des techniques et des technologies de fabrication modernes et ayant fait leurs preuves, en faisant appel à des spécialistes du secteur, généralement du domaine de l'ingénierie. Ces services sont généralement fournis de façon décentralisée, les spécialistes se rendant sur le site de production pour travailler sur des projets visant à résoudre les problèmes et répondre aux besoins de l'entreprise. Les services extérieurs dédiés proposent des aides variées concernant notamment les systèmes qualité, la production à flux tendu, les économies d'énergie, la protection de l'environnement, la santé et la sécurité, les systèmes informatiques et les logiciels, le développement des produits et le marketing. Ils incluent généralement une évaluation de l'entreprise concernée, la conception d'un projet approfondi et une offre personnalisée de formation. Les services extérieurs dédiés peuvent être fournis par le prestataire lui-même ou par d'autres intervenants : consultants privés, programmes gouvernementaux, organisations de développement des ressources humaines ou centres de recherche appliquée. Le financement de ces services est souvent assuré à la fois par des honoraires facturés aux clients et par une aide publique de base (Shapira et al., 2015).

Le *Manufacturing Extension Partnership* (MEP) est un programme de services extérieurs dédiés mis en place aux États-Unis à l'intention des PME. Créé en 1989, le MEP a évolué progressivement tout au long des années 90 pour devenir un réseau national comprenant des centres dans chacun des États du pays – plus Porto Rico –, avec souvent plusieurs bureaux locaux dans chaque État en fonction de la taille de ce dernier. Certains centres ont le statut d'entités privées à but non lucratif, d'autres d'unités universitaires à vocation non pédagogique, et d'autres encore de programmes gérés par l'État. Le MEP est géré par le National Institute of Standards and Technology (NIST), placé sous l'autorité du ministère du Commerce des États-Unis. Le NIST finance un tiers du budget de ces centres avec des sources non fédérales représentant un ratio de trois pour un. La contribution fédérale au budget du MEP était d'environ 130 millions USD au cours de l'exercice 2016. En janvier 2017, la loi sur « l'innovation et la compétitivité américaines » a ramené la part fédérale du financement du MEP à 50 %⁵. Les centres fournissent un ensemble concret de services ayant trait à l'amélioration des processus, au développement des produits, au marketing, à la formation

et au développement durable (par exemple l'utilisation rationnelle de l'énergie et la gestion environnementale). La plupart des centres mettent également les PME du secteur manufacturier en relation avec d'autres organismes d'aide (publics et privés). Leur gouvernance repose sur un accord de coopération entre le NIST et chaque centre. Les centres du MEP abritent des comités consultatifs nationaux composés principalement de PME. Le programme MEP dessert entre 7 000 et 8 000 PME à travers le pays, dans le cadre de quelque 12 000 projets. Il fait l'objet d'un vaste processus d'évaluation (comptes rendus d'activités et déclarations des clients, enquêtes indépendantes auprès de ces derniers, rapports annuels, examen par des commissions d'experts et études spéciales) en vue de mesurer les impacts économiques tels que les économies réalisées, les ventes, les investissements, les emplois et la productivité.

Les services aux entreprises axés sur la technologie

Les services aux entreprises axés sur la technologie ont pour but d'aider les start-ups et les petites entreprises en combinant assistance et soutien financier. Leur rôle est de remédier à la fragilité des liens qui existent entre les efforts de modernisation technologique de ces entreprises et leurs ressources financières. Les deux programmes emblématiques de cette catégorie sont le Programme d'aide à la recherche industrielle, au Canada, et l'*Innovation Corps* (I-Corps), aux États-Unis.

Le Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) a été mis sur pied au début des années 60 par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC). Il est coordonné par un réseau décentralisé de bureaux locaux et géré par le CNRC (Shapira et al., 2015). Il fait appel à d'anciens cadres pour travailler avec les entreprises, offre des financements non remboursables pour des projets de R-D appliquée menés par des PME, et collabore avec des organisations partenaires pour fournir des services aux entrepreneurs. Ce programme gère ses propres bureaux ainsi que des organisations partenaires dans cinq régions, la plupart de ses bureaux étant situés dans les provinces du Québec et de l'Ontario. Près de la moitié du budget annuel du PARI (qui s'élève à environ 90 millions USD) finance des services de conseil ; le reste est consacré à des projets de R-D appliquée. Les services fournis aux entreprises sont gratuits. Le programme entretient des relations régulières avec un portefeuille d'entreprises clientes. Il verse en outre des financements à des organisations du secteur public situées dans des zones reculées, afin de les aider à fournir des services aux entreprises. Quelque 10 000 entreprises bénéficient chaque année des services du PARI, dont un tiers reçoivent typiquement des financements non remboursables. Les entreprises bénéficiaires sont des PME de produits, principalement dans les secteurs des technologies de l'information et des communications (TIC), des matériaux et de la fabrication, de la construction, de l'agriculture et de l'alimentation, de l'énergie et de l'environnement, et des sciences de la vie. Les clients recevant des aides non remboursables doivent rendre compte de l'état d'avancement des projets et fournir des évaluations d'impact. Conformément à la loi, le PARI fait l'objet d'une évaluation indépendante tous les cinq ans.

Le programme I-Corps a été mis sur pied aux États-Unis en 2011 par la National Science Foundation (NSF) pour accélérer le lancement d'entreprises en s'appuyant sur la recherche scientifique. Il utilise le programme d'enseignement « Lean LaunchPad » de l'Université de Stanford, élaboré par Steve Blank (2013). L'idée est de former des équipes composées d'un chercheur principal de la NSF, d'un responsable entrepreneurial (généralement un étudiant ou un chercheur postdoctoral) et d'un tuteur. I-Corps utilise des techniques simples pour sélectionner des clients, à savoir des méthodes systématiques pour déterminer ce qui

intéresse le plus les clients et tester les produits ou services qui répondent le mieux à leurs besoins. La formation utilise le « Business Model Canvas » d'Alexander Osterwalder (Osterwalder et Pigneur, 2010), qui oblige les équipes à concevoir un modèle de gestion théorique pour une ou plusieurs applications de leurs recherches. Ces équipes doivent, hors de leur laboratoire, s'entretenir avec une centaine de clients et partenaires potentiels de leur projet de produit ou de service dans le cadre du modèle de gestion théorique qu'elles ont conçu, en apportant des modifications (également appelées « pivots ») à ce modèle en fonction des commentaires qu'elles reçoivent. Après un « camp d'entraînement » de trois jours (c'est-à-dire une formation courte et intensive pour les entrepreneurs), les modifications suggérées dans les commentaires sont examinées. Chaque équipe procède ensuite à des choix, autrement dit décide de poursuivre ou non l'application en lançant une activité ou en octroyant une licence. Des observations ponctuelles sur les premières cohortes des I-Corps ont montré que l'absence de services et d'infrastructure de soutien dans les universités où elles se trouvaient ont limité leur succès. La NSF en est donc venue à créer un écosystème composé de ce que l'on appelle les « nœuds » et les « sites ». Les nœuds sont des unités disséminées au niveau régional dans les universités et dont le rôle est de dispenser des formations ; les sites fournissent des aides à l'entrepreneuriat et à la commercialisation aux équipes I-Corps dans les universités, souvent sur les campus d'origine pour faciliter la formation d'équipes. VentureWell, connu autrefois sous le nom de National Collegiate Inventors and Innovators Alliance (NCIIA), dirige le *National Innovation Network* qui gère une base de données des activités I-Corps, œuvre pour le développement des ressources collectives et évalue en permanence le programme. Il n'existe pas d'études comparatives des groupes I-Corps, mais selon les premières évaluations, les formations dispensées ont permis de multiplier par trois le nombre de groupes connaissant le modèle économique. Le budget de la NSF pour le programme I-Corps était de 30 millions USD au cours de l'exercice 2016 (US NSF, 2016). Les primes de 50 000 USD versées aux équipes couvrent les dépenses associées à la formation et à la sélection des clients. Les sites reçoivent jusqu'à 100 000 USD pour trois ans. Les nœuds touchent entre 2 millions et 4 millions USD sur trois ans pour dispenser les formations. L'intérêt pour le programme I-Corps s'est étendu à d'autres instances fédérales américaines, dont les National Institutes of Health, le ministère de l'Énergie, le ministère de la Défense, le ministère de la Sécurité intérieure et la Small Business Administration. Des méthodes similaires de sélection des clients ont été adoptées dans d'autres pays, par exemple par le programme SynbiCITE au Royaume-Uni, qui utilise lesdites méthodes pour accélérer la commercialisation des applications de la biologie de synthèse (SynbiCITE, 2016).

Les centres de technologie appliquée

Les centres de technologie appliquée effectuent des travaux de R-D contractuels pour le compte d'entreprises privées, d'administrations locales et nationales, et d'autres types d'organisations. Ces centres peuvent être intégrés à des organisations polyvalentes de plus grande taille. Un exemple type est la Fraunhofer Society, un réseau privé à but non lucratif constitué d'une soixantaine d'instituts de recherche allemands qui mènent des travaux de recherche contractuelle pour l'administration (de l'État fédéral et des Länder) et des organisations privées (Fraunhofer, 2016). Créée en 1949, la Fraunhofer Society est placée sous l'autorité du ministère allemand de l'Éducation et de la Recherche, mais gère elle-même une grande partie de ses activités. Chaque institut qui la compose est spécialisé dans une technologie ou un secteur particulier et fait appel, pour ses travaux de recherche, à un ensemble de chercheurs en interne et d'étudiants. Les services fournis incluent de la

recherche pré-concurrentielle, de la recherche appliquée bilatérale avec différentes entreprises, du prototypage ainsi que des modalités de pré-production et de transfert de technologie collaboratif. Il s'agit en général de projets de grande ampleur, très individualisés et de grande valeur. Le budget de la Fraunhofer Society provient pour un tiers des grandes sources institutionnelles (de l'ordre de plus de 700 millions USD). Le reste est financé par le secteur privé et les organismes publics. Les instituts faisant partie de la Fraunhofer peuvent fournir leurs services à des clients situés dans d'autres régions, et certains instituts sont implantés aux États-Unis et placés sous la direction de Fraunhofer USA. Leur tâche est de produire des publications, des brevets, des contrats de recherche et des licences, et de lancer des start-ups. D'autres groupements de centres de technologie appliquée existent également aux Pays-Bas (TNO), au Danemark (GTS Institutes), en Norvège (SINTEF) et en Espagne (Technalia) (Solberg et al., 2012 ; Shapira et al., 2015).

Aux États-Unis, le National Network for Manufacturing Innovation (renommé officiellement Manufacturing USA en 2016) est une initiative visant à mettre en place dans le pays un système similaire à la Fraunhofer Society, dédié à la recherche appliquée et à la commercialisation des principales technologies de production (US NNMI, 2016). Ce réseau se compose d'instituts de recherche chapeautés par une organisation privée à but non lucratif. Le premier de ces instituts, spécialisés dans l'impression 3D, a été créé à Youngstown/Ohio en 2012. Le financement de base des instituts provient d'organismes différents selon la mission de chaque institut (par exemple le ministère de la Défense, le ministère de l'Énergie, le ministère du Commerce, la National Aeronautics and Space Administration et la NSF). L'enveloppe de base (quelque 60 millions USD) fournie pour plusieurs années est alimentée par plusieurs sources, notamment les frais d'adhésion versés par les entreprises privées (multinationales et plus petites), les universités et les organisations à but non lucratif. L'adhésion donne accès à la propriété intellectuelle sans versement de droits d'auteur (selon le tarif payé par l'organisation membre) et confère le droit de participer aux projets de R-D des instituts ainsi que d'influer sur le programme de recherche de ces derniers. Beaucoup d'instituts doivent traiter des problèmes majeurs de normalisation, en particulier lorsque les produits à fabriquer nécessitent des systèmes complexes. L'un des projets du Digital Manufacturing and Design Innovation Institute consiste par exemple à mettre au point un système de fabrication numérique permettant le partage de données, l'analyse, la modélisation, l'outillage et l'assemblage. Le fait de pouvoir s'appuyer sur les compétences d'un groupe de membres permet aux instituts de recueillir plus facilement des ressources et de mettre à contribution la communauté appropriée (DMC, 2016).

Les centres de R-D ciblée

Si les centres de technologie appliquée travaillent principalement sur des projets propres à telle et telle entreprise – grâce à un haut degré de participation et de gestion des entreprises –, les centres de R-D ciblée sont, eux, dirigés surtout par les chercheurs eux-mêmes, dans le but de mener des recherches de pointe sur les technologies émergentes, et de générer des retombées économiques. Ces centres ont de plus en plus pour tâche de répondre aux enjeux sociétaux en développant et en diffusant leurs technologies ciblées. Ils sont généralement hébergés dans les universités et bénéficient pour leurs recherches d'un soutien important de la part de parties prenantes publiques qui souhaitent par leurs actions faire avancer certaines technologies émergentes dont elles pensent qu'elles auront un fort impact sur l'économie et la société. Ces aspects économiques et sociétaux sont de plus en plus pris en compte – et de façon toujours plus explicite – dans plusieurs projets phares de

R-D lancés récemment dans des domaines touchant aux technologies émergentes. Pour citer des exemples nationaux, la NSF a cautionné aux États-Unis 17 centres d'ingénierie et de recherche scientifique à l'échelle nanoscopique – chacun travaillant dans un domaine spécifique des nanotechnologies émergentes – dans un cadre (la loi intitulée « 21st Century Nanotechnology Research and Development Act »⁶) qui met l'accent non seulement sur la recherche de pointe, mais aussi sur l'incorporation de nouvelles technologies dans les produits, l'acquisition de nouvelles compétences et la conception de nouveaux outils, ainsi que le développement responsable (Fisher et Mahajan, 2006 ; Rogers, Youtie et Kay, 2012). Au Royaume-Uni, six centres de recherche sur la biologie de synthèse ont été soutenus dans le cadre d'un programme national visant à faire progresser les capacités de recherche, à encourager les liens industriels et la commercialisation de la biologie de synthèse, à accroître la formation et à promouvoir une recherche et une innovation responsables (UK Synthetic Biology Roadmap Coordination Group, 2012 ; Shapira et Gök, 2015).

Les centres de R-D ciblée peuvent faire intervenir plusieurs universités et autres parties prenantes, et les approches pluri-institutionnelles mises en œuvre entraînent souvent des liens avec d'autres pays. Le Campus for Research Excellence and Technological Enterprise (CREATE), à Singapour, utilise une approche de ce type combinant une recherche et une commercialisation ciblées ainsi que des partenariats internationaux⁷. Conçu par le gouvernement singapourien, CREATE s'appuie sur des partenariats entre deux grandes universités de recherche du pays et dix prestigieuses universités similaires des États-Unis, d'Europe, du Moyen-Orient et d'Asie pour mettre au point de nouvelles technologies de production en vue de relever les grands défis sociétaux de la ville-État de Singapour (CREATE, 2016). CREATE a été mis en service en 2006 sous la direction de la National Research Foundation de Singapour. Un centre de recherche d'un coût de 250 millions USD a été implanté à côté du campus University Town (UTown) de l'Université nationale de Singapour (NUS). Par ailleurs, chaque université partenaire étrangère reçoit environ 100 millions USD pour effectuer des travaux de recherche appliquée, dont 75 % à 80 % bénéficient au partenaire singapourien – généralement la NUS ou l'Université technologique de Nanyang Technological (NTU) – pour financer les chercheurs et les équipements. Les accords de recherche conclus entre les universités sont d'une durée de cinq ans, renouvelable d'autant.

Le programme avait sélectionné à l'origine comme partenaires neuf universités étrangères : l'École polytechnique fédérale de Zurich (Suisse) ; le Massachusetts Institute of Technology (MIT) ; l'Université technique de Munich ; l'Université hébraïque de Jérusalem ; l'Université Ben Gourion ; l'Université de Californie, à Berkeley ; l'Université de Pékin ; l'Université Jiao Tong de Shanghai ; enfin, l'Université de Cambridge. Chaque projet de recherche inclut deux chercheurs chevronnés : généralement un de la NTU ou la NUS (mais d'autres universités singapouriennes peuvent aussi participer), et l'autre de l'université étrangère partenaire. Les projets qui sont menés relèvent de quatre domaines interdisciplinaires : les systèmes humains (par exemple, les maladies tropicales et infectieuses), les systèmes environnementaux (comme la gestion de l'eau), les systèmes urbains (tels que les véhicules sans chauffeur) et les systèmes énergétiques (comme l'efficacité énergétique des bâtiments). Le programme utilise plusieurs mécanismes pour s'assurer que la commercialisation a bien lieu à Singapour. Chaque université partenaire doit, pour pouvoir recevoir les bourses de recherche et les utiliser, établir une société à responsabilité limitée à Singapour. De même, les directeurs des centres de recherche des universités étrangères doivent être installés ou passer la majorité de leur temps à Singapour, et l'ensemble des chercheurs expérimentés des universités partenaires doivent avoir résidé

un an à Singapour, dont au moins six mois consécutifs. Les droits de propriété intellectuelle sont gérés par le Singapore Technology Licensing Office. La gestion du programme implique la collecte de grands indicateurs de performance et leur approbation mutuelle par la National Research Foundation et l'université étrangère partenaire.

Les instruments d'échange de connaissances/axés sur la demande

On accorde depuis quelques années une attention croissante à la création d'institutions intermédiaires pour faciliter les processus de diffusion technologique. Un rôle plus important est également dévolu aux instruments axés sur la demande, qui permettent d'inciter les entreprises à interagir avec des intermédiaires de la diffusion technologique, ainsi qu'avec des fournisseurs de technologies du côté de l'offre. Ces mécanismes « d'expansion » sont considérés comme essentiels pour le processus itératif de mise en relation, de médiation et de diffusion des connaissances relatives aux nouvelles technologies et aux nouvelles méthodes entre les entreprises et les organisations de recherche et de technologie, et en leur sein (Aldrich et Herker, 1977 ; Tushman, 1977 ; Kaufmann et Tödtling, 2001 ; Virani et Pratt, 2016). Il existe une grande variété de mécanismes de ce type, les réseaux qui se développent le plus étant non seulement ceux des transferts de technologie, mais aussi d'échange de connaissances et de coproduction ; on note aussi l'utilisation croissante – et inventive – d'incitations axées sur le comportement afin d'encourager les entreprises à traverser les frontières pour s'initier à de nouvelles approches.

Les politiques publiques visant explicitement à favoriser la création de réseaux interentreprises pour faire progresser l'innovation via l'échange d'informations et la collaboration ont fait leur apparition en Italie dans les années 70, pour s'étendre ensuite au Danemark dans les années 80, puis dans de nombreux autres pays de l'OCDE (Cunningham et Ramlogan, 2016). Un exemple actuel est le *Knowledge Transfer Network* (KTN), un réseau créé au Royaume-Uni par l'agence de promotion de l'innovation Innovate UK, financée par des fonds publics. Le KTN aide tout un ensemble d'entreprises, d'universités, d'investisseurs, d'organisations à but non lucratif et autres acteurs intéressés, à échanger et collaborer dans des domaines technologiques précis. Les experts du KTN servent par ailleurs de catalyseurs pour les activités du réseau, qui couvrent 16 grands secteurs (parmi lesquels la biotechnologie, les industries créatives et l'économie numérique, la fabrication, les matériaux, la durabilité et l'économie circulaire). Le KTN réunit également une vingtaine de groupes d'intérêt sectoriels autour de thèmes comme la fabrication flexible, l'informatique sobre en énergie, la robotique et la biologie de synthèse⁸. Les activités du KTN consistent à faciliter les échanges en ligne entre les membres du réseau, à organiser des manifestations ouvertes, à collaborer avec les pôles de connaissances (par exemple dans le domaine de la chimie des matériaux ou de l'innovation de procédé), à faciliter l'accès à des concours de financement et à organiser des groupes de travail et des feuilles de route. En 2015-16, le KTN comptait plus de 77 000 membres, plus de 400 manifestations, qui ont attiré plus de 20 000 participants, plus de 120 feuilles de route et analyses, et plusieurs milliers d'entretiens individuels ; il avait en outre soutenu 455 propositions de financement et environ 120 campagnes de collecte de fonds. Le budget annuel du réseau est d'environ 15.8 millions GBP.

De manière générale, les réseaux d'échange de connaissances se composent des membres d'une chaîne de valeur particulière (par exemple : les concepteurs et les utilisateurs potentiels d'une technologie émergente ; les entreprises et les organisations technologiques faisant partie d'une chaîne d'approvisionnement sectorielle particulière). Ces réseaux

peuvent être nationaux ou internationaux, ou encore avoir une dimension régionale. Lorsque l'échange de connaissances technologiques présente un caractère régional prononcé, les réseaux peuvent fusionner avec des pôles d'activité – ou encore en émaner ou évoluer vers ce type de structure – qui, globalement, mettent en relation des groupes d'entreprises et d'autres acteurs du système d'innovation situés dans des zones géographiques précises. En Allemagne, plus de 450 pôles d'activités régionaux ont été recensés, dont un grand nombre sont financés par l'État fédéral et les Länder, ainsi que d'autres pôles privés (Clusterplatform Deutschland, 2017). Les secteurs technologiques actifs (nombre de pôles d'activité régionaux en janvier 2017) sont notamment les suivants : environnement (79), énergie (69), information et communications (69), production (66), matériaux (48), industrie automobile (41), biotechnologie (41), génie électrique, mesure et capteurs (34)⁹. Ces pôles aident les entreprises à participer avec d'autres entreprises et institutions à des activités de développement et de diffusion des technologies, et à établir un lien entre ces activités et des stratégies de conception de nouveaux produits, de marketing et d'internationalisation. L'un des moteurs du développement de cet éventail dense et varié de réseaux d'échange fut le programme *Kompetenznetze* (« réseaux de compétences »), créé au milieu des années 2000 par le ministère fédéral de l'Économie et de la Technologie de l'époque. Ce programme encourageait la création et la reconnaissance de plus d'une centaine de réseaux régionaux – notamment dans les sciences de la vie, l'agroalimentaire, la médecine, les énergies renouvelables et les technologies de l'information –, répartis dans toute l'Allemagne (BMW, 2010). En 2012, le programme *Kompetenznetze* a été intégré à la plateforme allemande de pôles d'activité financée conjointement par le ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie (BMW) et le ministère fédéral de l'Éducation et de la Recherche (BMBWF). Dans le cadre de cette plateforme, le BMW subventionne un programme *Go Cluster* qui fournit une procédure de certification des pôles, l'accès à des fonds publics, la possibilité de participer à des activités de réseau transversales, et les conseils d'une agence indépendante. On dénombre une centaine de pôles d'activité *Go Cluster* en Allemagne, soit environ 13 000 membres dont 8 500 entreprises (des PME, pour la plupart), ainsi que des universités, les instituts de la Fraunhofer Society, des centres de technologie et de recherche non universitaires, et des organisations professionnelles. Une récente évaluation montre que la mise en relation des entreprises avec ces ressources complémentaires via les pôles d'activité régionaux a favorisé les innovations et leur mise en œuvre (Ekert, Schüren et Bode, 2016).

Ces réseaux et d'autres du même type se caractérisent par une communauté d'intérêts industriels, technologiques ou régionaux, la libre participation, la mise à disposition de capacités essentielles pour favoriser l'échange d'informations, des activités collaboratives, des projets, une volonté de mettre en œuvre et de déployer des technologies d'avenir, ainsi qu'une gouvernance et une gestion efficaces (voir aussi BMW, 2010 ; Cunningham et Ramlogan, 2016). Les réseaux d'échange de connaissances peuvent aussi assumer des fonctions de coproduction, les entreprises travaillant souvent avec des institutions technologiques pour mener conjointement des projets de développement ainsi que des tâches groupées de conception, production, formation et marketing, généralement entre des membres du réseau proches géographiquement. Des programmes de travail en réseau associant « villes intelligentes » et secteurs industriels ont été mis sur pied dans plusieurs pays européens et ailleurs. Exemple, Brainport Eindhoven aux Pays-Bas, où l'encadrement, l'augmentation des échanges de connaissances et les nouvelles interactions en matière de coproduction ont favorisé la redynamisation de cette vieille région portuaire industrielle (Horlings, 2014). Au Royaume-Uni, une initiative financée par deux conseils de recherche

étudie des possibilités de « fabrication redistribuée », en déployant des technologies de fabrication avancées dans des entreprises flexibles regroupées localement en pôles d'activité, ce qui pourrait conférer à ces dernières un avantage concurrentiel durable par rapport aux chaînes d'approvisionnement mondialisées traditionnelles (Pearson, Noble et Hawkins, 2013). Des pistes prometteuses sont expérimentées par ces réseaux, par exemple dans le domaine des médicaments et de la santé, des biens de consommation et des données massives ; d'autres examinent les avantages potentiels de la fabrication redistribuée, avec l'impression en 3D et les « makerspaces » (Freeman, McMahon et Godfrey, 2016 ; Moreno et Charnley, 2016 ; Zaki et al., 2017).

Ces réseaux et initiatives d'échange de connaissances sont complétés par des mesures incitatives visant à stimuler l'intérêt du côté de la demande et à favoriser de nouvelles relations transfrontières pouvant accélérer la diffusion des technologies entre les entreprises, en particulier les PME. Ces incitations peuvent prendre la forme de chèques-innovation que les PME peuvent utiliser pour acheter du temps et obtenir de l'assistance auprès de centres de recherche et de technologie ainsi que d'organismes d'aide aux entreprises. Ces chèques sont associés à de modestes incitations financières pour favoriser l'intérêt, la demande et le changement de comportement des entreprises, de manière à encourager l'interaction avec les universités, les centres de recherche, les consultants spécialisés et d'autres sources de connaissances et de technologies (Bakhshi et al., 2015). Les chèques-innovation sont préconisés à la fois par les administrations nationales et régionales. Ils existent aux Pays-Bas, en Irlande et au Royaume-Uni (parmi plus de 20 pays européens), ainsi qu'en Australie, au Canada, en République populaire de Chine (ci-après « la Chine »), en Inde, à Singapour et aux États-Unis (DG ENTR-Unit D2, 2009 ; Langhorn, 2014 ; CORFO, 2016). Le montant du chèque est généralement peu élevé (de 3 000 EUR environ à moins de 10 000 EUR) et peut s'accompagner d'une obligation de contrepartie en espèces ou en nature par la PME bénéficiaire. Les chèques-innovation n'ont pas vocation à financer le coût d'un gros projet : ils ne correspondent généralement qu'à un budget de quelques jours. En revanche, ils visent à susciter un changement de comportement, afin d'encourager les PME à entrer en contact avec d'autres organisations pour explorer de nouvelles pistes en matière de technologie et de gestion, entreprendre des projets et envisager des étapes complémentaires et des options possibles. Les chèques-innovation peuvent être conçus pour des PME de certains secteurs remplissant les conditions requises (le secteur manufacturier ou les services de pointe, par exemple), pour mettre l'accent sur certaines technologies en particulier (notamment les TIC), ou pour encourager les liens avec des domaines de compétence spécifiques dans les milieux universitaires ou le secteur privé. Bien que ces chèques ne soient pas suffisants pour modifier totalement l'attitude des PME à l'égard de l'innovation, les évaluations qui ont été faites (y compris de façon aléatoire) montrent qu'ils encouragent les entreprises à établir de nouvelles relations et à entreprendre de nouveaux projets (Cornet, Vroomen et van der Steef, 2006 ; OCDE, 2010 ; Sala, Landoni et Verganti, 2015 ; Bakhshi et al., 2015). Les bonnes pratiques qui sont associées aux chèques-innovation sont notamment une gestion publique efficace, une bonne organisation de la mise en relation des entreprises avec des sources d'expertise, des démarches administratives minimales pour les participants, un marketing satisfaisant et des capacités pour lancer des projets complémentaires (OCDE, 2010b).

Les chèques-innovation ne sont qu'un exemple des instruments axés sur la demande qui peuvent être utilisés pour encourager la diffusion technologique. Les autres instruments sont notamment l'utilisation ciblée des marchés publics, les incitations fiscales et les

subventions visant à réduire le coût des nouvelles technologies pour les utilisateurs, les opérations de sensibilisation, la formation, la facilitation des interactions entre les fabricants et les utilisateurs, ainsi que l'adoption d'une réglementation favorisant le déploiement des nouvelles technologies (Blind, Petersen et Riillo, 2016 ; Edler, 2016 ; Uyarra 2016). Certains de ces instruments sont des mécanismes « immatériels » qui utilisent des approches indirectes fondées sur l'information ou les comportements ; d'autres en revanche reposent sur des aides financières directes. Si les pouvoirs publics souhaitent accélérer la diffusion des technologies associées à la prochaine révolution de la production, il est probable que ces approches devront de plus en plus être intégrées aux activités des institutions de diffusion technologique, et mises en œuvre avec elles.

Les mécanismes technologiques ouverts

Ces dernières années, des méthodes ouvertes de diffusion de nouvelles technologies de production ont fait leur apparition, en écho à l'essor des logiciels libres dans le secteur informatique. Exemple, la BioBricks Foundation, créée en 2006 par Drew Endy, professeur à l'Université de Stanford¹⁰. Cette fondation privée à but non lucratif est la première à concevoir des modèles ouverts de transfert de technologie dans le domaine de la biologie de synthèse. Elle cherche à éviter que ce domaine émergent ne soit dominé par la protection de la propriété intellectuelle et la culture du secret, ce qui pourrait représenter un frein à l'application, à la diffusion et aux développements futurs. BioBricks a mis sur pied plusieurs programmes pour encourager l'innovation ouverte dans le domaine de la biologie de synthèse. *OpenWetWare* est une application wiki qui a été conçue en 2007 pour permettre le partage d'informations entre les laboratoires du monde entier au sujet des protocoles, des formations et autres informations intéressant la communauté de la biologie de synthèse. Elle compte plus de 20 000 utilisateurs. Depuis la conférence fondatrice de la biologie de synthèse organisée au MIT en 2004, BioBricks parraine une conférence internationale sur le même sujet (SBx.0) pour renforcer les liens entre les membres de la communauté ; cette manifestation a lieu alternativement aux États-Unis, en Europe et en Asie. L'édition la plus récente, SB6.0, a été organisée à l'Imperial College, au Royaume-Uni, en 2013 (avec plus de 700 participants). L'édition SB7.0 est prévue à Singapour en 2017. En 2008, BioBricks a lancé un processus « d'appel à commentaires » qui a conduit à l'établissement d'un cadre de normes techniques pour les éléments biologiques standard, afin que ces éléments puissent « aller ensemble » lorsqu'ils sont échangés. BioBricks a établi un accord volontaire entre les chercheurs – le *BioBricks Public Agreement* –, qui énonce les conditions dans lesquelles les éléments biologiques peuvent être utilisés. En 2015, la fondation a approuvé un « accord pour le transfert ouvert de matériaux » (*OpenMTA*) visant à pallier les lacunes des accords actuels d'échange de biomatériaux, comme par exemple la limitation de la participation commerciale. Par ailleurs, elle met actuellement en place une plateforme d'information pair à pair – bio.net – devant permettre le contrôle et l'échange des biomatériaux.

La BioBricks Foundation a été financée par de modestes dons de la NSF et des National Institutes of Health américains jusqu'en 2015. Elle a ensuite reçu une subvention de 3.9 millions USD sur trois ans dans le cadre du programme « *Biomedical Research Infrastructure Program* » du Helmsley Charitable Trust pour créer la plateforme bio.net (Helmsley Charitable Trust, 2016). Ces fonds ont permis à BioBricks de recruter un directeur général, un directeur des affaires juridiques et des transferts de technologie, ainsi qu'un informaticien, tout en sous-traitant le développement logiciel à l'Université de Stanford. BioBricks vient de lancer un programme d'adhésion pour s'assurer un financement à long terme.

BioBricks est par ailleurs en relation avec la fondation International Genetically Engineered Machine (iGEM) et International Open Facility Advancing Biotechnology (BIOFAB). L'iGEM était au départ un cours du MIT en 2003, dispensé par Drew Endy et d'autres professeurs, et avait pour but d'apprendre aux étudiants à concevoir des dispositifs de biologie de synthèse. Randy Rettberg, alors chercheur au MIT et l'un des premiers membres du conseil d'administration de BioBricks, a fait de l'iGEM une fondation et en est aujourd'hui le président. La fondation iGEM organise un concours ouvert à des équipes d'étudiants qui ont pour mission de concevoir des dispositifs de biologie de synthèse à partir d'éléments biologiques standard (en prenant en compte les risques et les répercussions sociétales). L'iGEM gère en outre le *Registry of Standard Biological Parts*, un registre utilisé par les étudiants participant au concours – et par d'autres – pour faire progresser l'innovation dans le domaine de la biologie de synthèse, ainsi que le *Labs Program*, qui permet aux étudiants ne participant pas au concours d'avoir accès à des éléments biologiques. En 2015, le concours de l'iGEM a attiré plus de 5 000 participants répartis dans plus de 200 équipes internationales. BIOFAB est une installation qui conçoit et produit des éléments biologiques standard de meilleure qualité et mieux sélectionnés pour les mettre à la disposition du public. Parrainé par la NSF, BIOFAB est partenaire de BioBricks, du Synthetic Biology Engineering Research Center de Berkeley, et du Lawrence Berkeley National Laboratory. Les éléments biologiques sont mis à la disposition des milieux universitaires et des entreprises dans une « bibliothèque », le *BioBricks Public Agreement* étant utilisé pour définir les conditions d'utilisation des éléments.

Outre les nombreuses plateformes logicielles en accès libre, d'autres mécanismes technologiques ouverts ont été créés dans des domaines comme la robotique, le matériel de production et les normes opérationnelles pour l'automatisation dans l'industrie. À mesure que les technologies et les systèmes de production sont de plus en plus perfectionnés, intégrés et fondés sur des données, ces mécanismes pourraient devenir de plus en plus utiles pour encourager la coordination à grande échelle entre un grand nombre d'organisations. Les mécanismes technologiques ouverts sont de surcroît flexibles et relativement bon marché, à la fois pour les nouveaux entrants et les opérateurs existants cherchant à étendre et diffuser des technologies émergentes.

Les institutions de diffusion technologique : évolution et défis

Comme le montrent les exemples ci-dessus, les institutions chargées de diffuser les technologies sont présentes dans l'ensemble des systèmes d'innovation, avec des objectifs variés ainsi que des formes d'organisation et des fonctions diverses. Certaines existent depuis un certain temps et sont profondément ancrées dans leurs systèmes d'innovation respectifs, alors que d'autres sont en pleine évolution ou tout juste naissantes. Dans le contexte de la prochaine révolution de la production, de nouvelles institutions seront nécessaires pour promouvoir de façon créative l'échange de connaissances, le changement organisationnel, le développement des capacités ainsi que la demande de diffusion technologique dans les domaines technologiques émergents et les nouveaux modèles économiques. Parallèlement, il est également important pour les institutions déjà établies d'améliorer et d'orienter leurs approches de façon à s'adapter aux défis et aux chances que présentent les technologies de nouvelle génération.

Les institutions de diffusion technologique font partie des systèmes d'innovation au sens large ; leur contribution à ces systèmes, les relations qu'elles entretiennent avec eux et ce qu'elles en obtiennent dépendent des structures et des politiques publiques mises en œuvre dans les environnements hôtes. Au niveau général du système et de l'action publique,

toute une série de facteurs influencent les performances de ces institutions, notamment les politiques et pratiques relatives à la R-D, à la collaboration entre l'industrie et l'université, au financement des investissements des entreprises, aux compétences, au marché du travail, aux infrastructures, à la propriété intellectuelle, au commerce, à la fiscalité, ainsi que la politique macroéconomique et la place que le système accorde aux dispositifs de diffusion technologique (OCDE, 1998 ; Bozeman, 2000 ; OCDE, 2015 ; Kochenkova, Grimaldi et Munari, 2016 ; Caiazza et Volpe, 2017). Une tâche indispensable – qui suppose d'être attentif à la panoplie de mesures en place (Flanagan, Uyerra et Laranja, 2011) – est de coordonner les conditions-cadres du système d'innovation et les mécanismes indirects avec les dispositifs relatifs aux institutions de diffusion technologique. Plus précisément, les cadres généraux et les politiques spécifiques devraient encourager les stratégies aux niveaux méso- et microéconomique propres à favoriser une conception et un fonctionnement efficaces des institutions chargées de diffuser les technologies. Une série de bonnes pratiques ont donc été recensées. Elles sont présentées dans les exemples et font également l'objet d'un examen plus approfondi dans d'autres études (voir par exemple Shapira et al., 2015).

Une bonne pratique essentielle à retenir est la mise en place d'un environnement organisationnel qui favorise une gestion solide des institutions de diffusion technologique. Comme on l'a vu, cet environnement peut inclure les universités, les centres technologiques, les organismes de développement économique, les agences gouvernementales et les organisations à but non lucratif. Cet environnement varie selon les systèmes d'innovation en place dans les différents pays, ces systèmes pouvant prendre des formes d'organisation très différentes, centralisée ou non. Ce qui importe toutefois avant tout, c'est de s'assurer que quel que soit le type d'organisation retenu, l'environnement permet un fonctionnement efficace ; cela veut aussi dire qu'il faut prévoir des dispositifs pour les examens de performances internes et externes, qui puissent conduire à ajuster les services et la gestion et, le cas échéant, à modifier l'environnement. Il est également important, pour les institutions de diffusion technologique aux niveaux méso- et microéconomique, de disposer d'une clientèle d'entreprises explicite (qui peut couvrir un large éventail de secteurs ou uniquement des secteurs spécifiques), de programmes d'une portée suffisante pour toucher une part importante de cette clientèle, et d'adopter une approche structurée des services afin d'optimiser les ressources disponibles. Il convient aussi de recommander, entre autres bonnes pratiques, que ces institutions soient dotées d'un personnel ayant de l'expérience dans l'industrie, établissent des liens avec d'autres installations et partenaires, et disposent d'un financement de base pour garantir leur stabilité. Dans les écosystèmes industriels et technologiques développés, il peut y avoir plusieurs institutions de diffusion technologique dédiées à des missions distinctes. Dans ce contexte, des capacités sont requises pour élever les entreprises existantes (typiquement les PME) aux niveaux actuels de la modernisation technologique et pour doter, le cas échéant, les entreprises nouvelles et existantes de moyens technologiques de pointe, ainsi que pour travailler avec les entreprises en mode individuel, en groupe ou en réseau (Park, 1999 ; Shapira et al., 2015).

Il est primordial que les institutions de diffusion technologique, ainsi que les systèmes d'innovation auxquels elles sont associées, utilisent des approches correspondant aux bonnes pratiques actuelles. Un socle de diffusion technologique, s'il est solide, peut soutenir des adaptations et des innovations institutionnelles pour diffuser des technologies émergentes. En revanche, si ce socle est fragile, il faudra peut-être intensifier les efforts pour mettre en place des institutions de diffusion technologique et améliorer celles existantes. Dans un cas comme dans l'autre, lesdites institutions devront être guidées par les politiques

et pratiques qui marchent. Elles devront également s'adapter et innover, de manière à mettre en avant les caractéristiques susceptibles d'être accentuées par la prochaine révolution de la production, voire d'être à l'origine de celle-ci, et à pouvoir demeurer en phase avec l'évolution technologique, industrielle et de gouvernance qui sera associée à cette révolution.

Comme on l'a vu dans l'introduction du présent chapitre, la prochaine révolution de la production se caractérisera principalement par le pouvoir de transformation des TIC, l'essor de l'impression numérique, les modifications profondes qui touchent les matériaux et les fondements économiques, ainsi que l'émergence de nouveaux modèles économiques mettant davantage l'accent sur la participation de l'utilisateur, la durabilité et l'innovation responsable (OCDE, 2016). Toute prévision des évolutions technologique, économique et stratégique doit s'appuyer sur des éléments probants, car la prochaine révolution de la production pourrait emprunter différentes voies. En gardant cette réserve à l'esprit, et en s'appuyant sur les exemples types examinés dans ce chapitre et sur les enseignements plus généraux tirés de la documentation spécialisée, on a recensé huit grands axes d'évolution technologique, économique et stratégique qui sont intrinsèquement liés à la prochaine révolution de la production et devraient être pris en compte par les institutions de diffusion technologique et les responsables de l'action publique (tableau 7.2). Ces axes de changement sont décrits ci-après et illustrés par des exemples.

Tableau 7.2. Évolutions technologiques, économiques et stratégiques associées à la prochaine révolution de la production, et conséquences pour les institutions de diffusion technologique

Évolution	Conséquences pour les institutions de diffusion technologique
Transformation numérique	Intégrer la diffusion des technologies numériques dans tous les domaines (conception, matériaux, production, produits, communication et services).
Émergence rapide et itérative de nouvelles technologies et de nouveaux modèles économiques	Mobiliser des capacités pour apporter des réponses rapides et personnalisées. Adapter les modèles économiques des organisations et en créer de nouveaux pour répondre aux nouveaux besoins et saisir les chances qui se présentent. Passer des modèles par projets et des approches de planification formelles à des méthodes flexibles, d'aide collective et de partage.
Nouveaux besoins en matière de capacités	Renforcer les capacités des entreprises et des systèmes locaux d'innovation pour permettre l'assimilation des technologies. Accroître les capacités des institutions en ce qui concerne les technologies émergentes et leur intégration.
Rôle accru des partenariats technologiques collaboratifs	Regrouper des acteurs variés – notamment universités, centres de recherche et organisations privées – pour mener des travaux collectifs : traduction de la recherche en applications, transposition à plus grande échelle et déploiement des technologies.
Développement mondial de nouveaux pôles de connaissances	Multiplier les activités transfrontières ainsi que les liens et partenariats internationaux.
Importance vitale de la durabilité	Intégrer les considérations à long terme de durabilité environnementale dans les approches technologiques.
Attention croissante à la recherche et l'innovation responsables	Faire une place à la recherche et l'innovation responsables dans les approches technologiques.
Rôle moteur de l'action publique et de l'administration	Tirer parti du soutien de l'action publique et de l'administration grâce à leur rôle moteur, à l'instauration de partenariats et à la stimulation de la demande.

Source : Analyse des auteurs.

- **La transformation numérique.** Les technologies numériques de l'information seront à l'avenir au cœur du processus de développement et d'adoption des technologies. Dans un mouvement comparable à l'essor de la mise en accès libre des publications et données de

recherche, on voit apparaître des « bibliothèques » dédiées à la mise en commun d'éléments technologiques de base. Un exemple déjà cité est celui de BioBricks, qui propose une norme ouverte – mise au point par le MIT – permettant le partage et l'utilisation accrue d'éléments biologiques de synthèse grâce au *Registry of Standard Biological Parts*. Ce registre est alimenté principalement par les participants au concours de l'iGEM ; une bibliothèque publique plus spécialisée et de qualité supérieure, BIOFAB, a également été créée. Ces mécanismes ouverts coexistent avec des approches traditionnelles fondées sur le principe d'exclusivité. Un autre exemple est le Digital Manufacturing and Design Innovation Institute, qui fait partie du réseau américain National Network for Manufacturing Innovation (NNMI) et utilise une approche fondée sur des ressources numériques communes pour mettre au point des outils logiciels de fabrication. Ces exemples mettent en évidence le rôle grandissant des institutions de diffusion technologique en ce qui concerne non seulement la diffusion des technologies numériques et leur intégration dans les différentes entreprises manufacturières, mais aussi la mise au point de nouveaux modèles virtuels et collaboratifs entre les secteurs et les réseaux industriels afin d'accélérer l'utilisation d'approches novatrices fondées sur le numérique.

- **L'émergence rapide et itérative de nouvelles technologies et de nouveaux modèles économiques.** Les institutions de diffusion technologique fonctionnent généralement selon des modèles linéaires, par projets, pour interagir avec les entreprises, souvent en utilisant des méthodes de planification formelles et des procédures systématisées. Bien que ces méthodes soient appelées à demeurer la norme pour travailler avec les entreprises, il est à prévoir que la prochaine révolution de la production incitera et obligera les institutions de diffusion technologique à adopter de plus en plus des approches flexibles et davantage axées sur les découvertes. L'une des conséquences de cette évolution sera la nécessité de mobiliser des capacités pour apporter des réponses rapides et personnalisées, afin d'accélérer la diffusion technologique et d'accroître la pertinence de ses méthodes. Certains signes montrent déjà que les institutions de diffusion technologique sont bien conscientes de ces défis : les méthodes flexibles et personnalisées y jouent un rôle croissant, l'aide collective y est plus présente, et une plus grande place est faite aux processus itératifs collaboratifs. Exemple, le programme américain I-Corps, qui a été conçu par la NSF et est aujourd'hui préconisé par de plus en plus d'autres agences et organisations. I-Corps accélère la commercialisation de résultats de recherches à forte composante scientifique en misant sur une formation influencée par le concept de « sélection simple des clients » et le modèle de gestion de type *business model canvas*. Des équipes de chercheurs et d'aspirants entrepreneurs sont encouragés par les tuteurs du programme à entretenir une interaction continue et réfléchie avec leurs clients et partenaires. Cette interaction flexible favorise l'adoption précoce de nouveaux modèles technologiques et économiques, dans le but de répondre aux demandes du marché et de saisir les chances qu'il présente (Weilerstein, 2014). En encourageant des échanges collaboratifs, l'apprentissage et le partage au sein de sa communauté, BioBricks promeut lui aussi une approche itérative.
- **Les nouveaux besoins en matière de capacités.** La prochaine révolution de la production ne se caractérise pas seulement par l'émergence de nouvelles technologies et de nouveaux modèles économiques, mais aussi par leur convergence et leur intégration. Ainsi, les technologies – physiques et numériques – seront de plus en plus fusionnées (par exemple dans la conception logicielle de nouveaux biomatériaux) ; il devrait en être de même pour la conception, la fabrication, la logistique et les services. Les fabricants devront acquérir de

nouvelles compétences dans les technologies émergentes et dans leur intégration systématique, ainsi que dans des domaines comme le travail en réseau et la coproduction. Les institutions de diffusion technologique devront donc développer leurs compétences dans les technologies émergentes et leur intégration, et mettre en œuvre des stratégies permettant de renforcer les capacités d'assimilation des entreprises et de leurs écosystèmes industriels en vue d'amorcer la prochaine révolution de la production. Elles peuvent s'y prendre de différentes manières. Aux États-Unis, par exemple, le programme MEP mise sur la formation du personnel interne et la planification des ressources humaines. Ses centres ont également mis en place des dispositifs flexibles permettant de faire appel à des prestataires de services différents en fonction de l'évolution des besoins techniques. En Allemagne, la Fraunhofer Society et ses instituts proposent aux entreprises toute une gamme de programmes de formation avancée, notamment dans le domaine des nouvelles technologies. Ils sont également actifs dans le transfert de connaissances (via de larges collaborations avec des entreprises), et aident les chercheurs à créer leurs propres entreprises (y compris par essaimage). Par ailleurs, les liens étroits qu'entretiennent les instituts Fraunhofer avec les universités facilitent la participation de jeunes chercheurs à des projets menés avec les entreprises : cela permet d'injecter de nouvelles compétences techniques dans les projets et de favoriser la diffusion car ces jeunes chercheurs acquièrent des compétences dans les applications industrielles puis occupent des postes au sein des entreprises. Aux États-Unis, le programme *I-Corps Sites* propose aux universités une nouvelle méthode de franchisage, structurée et acceptée, pour commercialiser la recherche : ce modèle représente une autre façon de développer les capacités pour mettre en place de nouvelles approches en matière de diffusion des technologies.

- **Le rôle accru des partenariats technologiques collaboratifs.** Les partenariats collaboratifs (dans le contexte de la diffusion des technologies) impliquent le regroupement de plusieurs acteurs – universités, centres de recherche et organisations du secteur privé – pour mener collectivement des activités de recherche appliquée, de transposition des résultats de recherche en applications et de déploiement des technologies. Si ces partenariats existent depuis longtemps, les technologies de production de nouvelle génération ont entraîné l'émergence de partenariats d'un nouveau genre qui englobent plusieurs secteurs et sont conçus pour pallier la différence « d'échelle » entre la recherche et la production à visée commerciale. Les partenariats technologiques offrent par ailleurs des possibilités d'échange tacite – mais aussi formel – de connaissances, de groupement des capacités et des spécialités, de conclusion de protocoles communs et de mobilisation de sources de financement (en attirant des fonds privés pour compléter les financements publics). Aux États-Unis, par exemple, pour « Manufacturing USA », le NNMI s'appuie sur des organisations privées à but non lucratif qui forment le cœur d'un réseau d'organisations professionnelles et universitaires s'employant à mettre au point des normes et des prototypes dans des domaines tels que la fabrication additive ainsi que la conception et la fabrication numériques. Les partenariats sont généralement centrés sur une technologie émergente en particulier ; c'est le cas avec le NNMI qui, début 2017, regroupe 14 instituts d'innovation dans le secteur manufacturier, chacun d'eux constitué de plusieurs partenaires publics et privés et travaillant sur une technologie avancée particulière¹¹. Au Royaume-Uni, également, un réseau de 11 centres « Catapult » créés par InnovateUK cherche à transformer la recherche de pointe en produits et services nouveaux ; là aussi, chaque centre associe de plusieurs partenaires issus des milieux universitaires, du secteur public et du secteur des entreprises, avec un mélange de fonds

publics et privés¹². Les partenariats technologiques collaboratifs peuvent prendre la forme de réseaux et d'initiatives d'envergure nationale, mais ils ont souvent une importante dimension régionale ; ils peuvent aussi inclure des partenaires étrangers et avoir une dimension internationale (voir ci-après). La prochaine révolution de la production exigera sans doute, pour les besoins de la diffusion technologique, un recours plus fréquent aux partenariats collaboratifs afin de permettre une transposition systématique des technologies émergentes complexes et de pouvoir disposer à la fois de ressources publiques et privées.

- **Le développement mondial de nouveaux pôles de connaissances.** La prochaine révolution de la production mobilisera un large éventail de pôles de connaissances et d'innovation situés dans le monde entier. Cela concernera les économies développées (Europe, Amérique du Nord et Asie de l'Est), mais aussi les économies émergentes en plein essor. En Chine, de nouvelles initiatives sont menées actuellement pour moderniser le secteur manufacturier, en mettant l'accent sur l'innovation et les technologies de fabrication avancées¹³. Dans plusieurs villes-régions de Chine (notamment Beijing, Shanghai et Shenzhen), d'importants pôles de recherche de pointe et d'entreprises travaillent activement sur des méthodes de fabrication novatrices (Bound et al., 2016 ; Saunders et Kingsley, 2016). Des pôles d'innovation dynamiques se sont développés – ou viennent d'être créés – en Inde, au Brésil et dans d'autres régions du monde (Dutta et Lanvin, 2013 ; Engel, 2014). Les institutions de diffusion des technologies opèrent généralement aux niveaux national et régional, même si certaines d'entre elles ont une dimension internationale. Les instituts Fraunhofer ont des implantations ailleurs qu'en Allemagne, d'une part pour proposer des services aux chaînes d'approvisionnement mondiales qui ont leur centre en Allemagne, et d'autre part pour pouvoir accéder à l'expertise technologique spécialisée des autres pays. Outre la gestion de centres affiliés à l'étranger, une autre stratégie consiste à travailler avec des organisations internationales et des multinationales ayant le statut non pas de clients, mais de partenaires dans le cadre de la collaboration et de la diffusion technologiques. Au Royaume-Uni, par exemple, le centre Cell and Gene Therapy Catapult a conclu un accord avec la préfecture de Kanagawa, au Japon, en vue d'encourager l'application et la commercialisation de la médecine régénérative et de la thérapie cellulaire au Japon et au Royaume-Uni ; cet accord prévoit la facilitation de l'accès au marché pour les entreprises britanniques au Japon, et pour les entreprises japonaises au Royaume-Uni et en Europe¹⁴. Le programme CREATE de Singapour, on l'a vu, est partenaire avec des universités nationales et étrangères pour faciliter le développement des capacités de recherche et la commercialisation des résultats de recherches appliquées axées sur les défis sociétaux auxquels est confrontée la ville-État (par exemple : congestion urbaine, maladies tropicales et accès aux sources d'énergie). À mesure que des pôles de connaissances et d'innovation feront leur apparition dans le monde, les institutions de diffusion technologique devront trouver des moyens d'y accéder et, de plus en plus, procéder avec eux à des échanges de connaissances et de technologies.
- **L'importance vitale de la durabilité.** La durabilité est une caractéristique de plus en plus importante de la production de nouvelle génération. De nombreux aspects de cette production (par exemple, le remplacement des produits pétrochimiques par des biomatériaux, l'utilisation des nanotechnologies pour produire des solutions plus efficaces faisant appel aux énergies renouvelables, ou encore la mise au point de méthodes de fabrication redistribuée qui réduisent les besoins de transport) promettent de fait l'émergence de processus et de produits plus écologiques et plus durables. Ces

derniers devraient permettre de relever les défis mondiaux liés à l'environnement, à l'énergie et aux émissions de gaz à effet de serre. Cela dit, outre son utilité au regard des objectifs mondiaux, la durabilité peut procurer des avantages directs aux entreprises et aux consommateurs : réduction des déchets et de l'utilisation de matériaux, diminution des coûts liés sur le cycle de vie, et accélération de l'innovation de procédé et de produit. Aux États-Unis, le MEP propose plusieurs services axés sur la durabilité : évaluation de la consommation énergétique et recommandations en vue de la réduire ; recensement des possibilités d'amélioration des processus ; aide à la mise en conformité avec les réglementations environnementales. Cette aide concerne également le respect des normes énergétiques telles que la norme ISO 50001 sur le management de l'énergie et la série des normes ISO 14000 sur le management environnemental. À un niveau plus général, le centre Energy Systems Catapult, au Royaume-Uni, aide les entreprises à trouver et développer des débouchés commerciaux dans l'ensemble du réseau énergétique¹⁵. La recherche de la durabilité environnementale sera sans doute une caractéristique de plus en plus fréquente des activités de diffusion technologique lors de la prochaine révolution de la production¹⁶.

- **Une attention croissante accordée à la recherche et à l'innovation responsables.** La recherche et l'innovation responsables ont pour but d'anticiper les répercussions sociales, éthiques et juridiques des sciences et technologies de demain, mais aussi leurs incidences sur l'environnement, la santé et la sécurité. Elles visent également à éviter ou réduire les effets négatifs, ainsi qu'à favoriser les approches inclusives – et l'efficacité – de la recherche et de l'innovation, (UE, 2012 ; Owen, Stilgoe et Macnaghten, 2012). En Europe et aux États-Unis surtout, on accorde depuis quelques années une attention croissante aux processus de recherche et d'innovation responsables, en particulier dans les technologies émergentes comme les nanotechnologies, la biologie de synthèse et les technologies numériques, l'intelligence artificielle et l'automatisation (Owen, Bessant et Heintz, 2013 ; McBride et Stahl, 2014 ; Gregorowius et Deplazes-Zemp, 2016 ; Michelson, 2016). Ces technologies sont à la base de la prochaine révolution de la production. Les institutions de diffusion technologique, de même que d'autres acteurs – publics et privés – de la prochaine révolution de la production, devront intégrer dans leurs activités des processus de recherche et d'innovation responsables et les mettre en œuvre. Bien qu'elles impliquent la connaissance des lois, réglementations et protocoles applicables, à la fois aux niveaux national et international, la recherche et l'innovation responsables dépasse largement la simple conformité à la réglementation. Elles nécessitent (selon un cadre établi au Royaume-Uni) : des processus d'anticipation – des impacts potentiels sur le plan économique, social et environnemental ; une réflexion sur les répercussions, les motivations, les incertitudes et les dilemmes ; un engagement – l'ouverture à la discussion et au dialogue ; enfin, l'action, en influençant le processus de recherche et d'innovation¹⁷. L'attention qui est accordée à la recherche et l'innovation responsables dans la feuille de route britannique sur la biologie de synthèse (*UK Synthetic Biology Roadmap*), ainsi que leur intégration dans les centres de recherche du pays consacrés à cette discipline (*Synthetic Biology Research Centres*) est un exemple concret. Les enjeux associés à la recherche et à l'innovation responsables dépendent ensuite de la technologie concernée. Ainsi, lors du déploiement de nouvelles technologies de l'information dans les entreprises et au sein des réseaux de fabricants et d'utilisateurs, il conviendra d'accorder toute l'attention voulue à la protection des données, à la confidentialité et à la sécurité. Les nouvelles technologies médicales peuvent susciter des questions éthiques complexes. Pour ce qui est des

nouvelles technologies relatives aux énergies renouvelables, ce sont les facteurs relatifs au cycle de vie et à l'environnement qui doivent être pris en compte. Cela dit, parmi l'éventail des technologies jouant un rôle dans la prochaine révolution de la production, toutes soulèvent d'une façon ou d'une autre des questions économiques, sociales et environnementales. Dans tous les cas interviennent des considérations d'équité en ce qui concerne les effets de déplacement que provoqueront les technologies émergentes sur des segments de la population qui risqueront de perdre leur emploi ou de le voir transformé. De manière générale, les institutions de diffusion technologique ont un rôle important à jouer en travaillant avec les concepteurs des technologies, les responsables de l'action publique, les entreprises, la population et d'autres membres de la collectivité pour les encourager à prendre conscience rapidement de leur responsabilité dans la recherche, la conception et les premières phases de développement. De plus, dans le cadre du déploiement de certaines technologies, il est recommandé à ces institutions de mettre en place des mesures et des actions particulières dans les projets et les plans d'intervention relevant de l'innovation responsable, afin que tout effet néfaste soit pris en compte et que les difficultés éventuelles soient évitées ou atténuées. C'est cette fonction que remplit par exemple le programme I-Corps, qui soulève un ensemble de questions d'intérêt public que les équipes de chercheurs peuvent prendre en compte au cours de leurs travaux (Youtie et Shapira, 2016).

- **L'évolution du rôle de l'administration.** Il est fréquent que l'administration publique (généralement l'administration centrale) soit l'instance dirigeante, le gestionnaire et la source de financement des institutions chargées de diffuser les technologies. Comme on l'a vu, ce rôle des pouvoirs publics persiste, car en l'absence d'intervention ou de financement public, les dysfonctionnements du marché entraîneront un sous-investissement dans la diffusion technologique. Plus précisément, dans les systèmes d'innovation nationaux où les institutions de diffusion technologiques sont fragiles ou désorganisées, l'intervention directe et le parrainage des pouvoirs publics sont sans doute nécessaires pour promouvoir la modernisation et une prestation de services efficace. Cela dit, si l'on prend en compte un mouvement apparu il y a quelques années – à savoir la mise en œuvre de la politique publique à l'aide d'autres mécanismes, comme par exemple les partenariats public-privé –, la prochaine révolution de la production suscitera de nouveaux besoins et de nouvelles possibilités qui induiront une évolution du rôle de l'administration au regard de la promotion de la diffusion technologique. On verra apparaître de nouveaux agents qui joueront un rôle de catalyseur ou d'intermédiaire pour associer d'autres organisations publiques et privées à l'action et à la mobilisation de ressources, et pour rechercher ensemble les voies à suivre en faveur de l'adoption des nouvelles technologies et de l'innovation responsable. Comme cela a déjà été indiqué, dans l'approche « Manufacturing USA », aux États-Unis, les organisations sans but lucratif doivent travailler en partenariat avec le secteur privé, les universités et d'autres entités sans but lucratif dans le cadre d'un programme d'adhésion. Cela permet de trouver des sources de financement, mais surtout de réunir tout l'éventail des compétences et des capacités requises pour déployer les technologies de pointe et en étendre la diffusion. L'élargissement du panache des mesures employées pour la diffusion des technologies de nouvelle génération nécessitera la participation accrue d'acteurs pouvant apporter leur contribution sur des questions comme le financement, la sécurité des informations, la réglementation, l'environnement, les ressources humaines et les enjeux de société. Les approches et les institutions de diffusion technologique devront à l'avenir être créatives,

surtout en ce qui concerne les principales technologies émergentes, de même qu'il faudra être prêt à expérimenter, et encourager la recherche et l'application itérative de nouvelles méthodes. Les politiques publiques agiront sans doute davantage sur la demande, tout en s'attaquant aux défis mondiaux et sociétaux. Les villes et les régions seront appelées à jouer un rôle plus important dans la diffusion technologique et sa coordination, et chercheront activement à orienter la prochaine révolution de la production de manière à redistribuer les activités de fabrication en faveur de la revitalisation de l'économie locale et de la durabilité.

De manière générale, les méthodes existantes de diffusion technologique devront s'améliorer en fonction de l'évolution des technologies de production ; de nouveaux modèles de diffusion devront également être conçus pour faciliter le déploiement efficace, efficient et équitable des technologies. Ces nouveaux modèles seront probablement plus collaboratifs et plus ouverts, et s'appuieront sur des sources de financement plus diversifiées et sur des approches de renforcement des capacités et de diffusion des technologies créatives, qui pourront être adoptées dans les institutions nouvelles comme dans les instances existantes. Les systèmes d'innovation dont les acteurs sauront faire preuve de clairvoyance et de flexibilité, et qui auront la volonté d'améliorer et de perfectionner rapidement leurs institutions de diffusion technologique auront sans doute plus de chances de tirer un avantage concurrentiel de la prochaine révolution de la production. Les systèmes plus fragiles ou dont les institutions de diffusion accusent un retard pourraient bien se trouver désavantagées, quels que soient leurs atouts en science fondamentale.

Quoi qu'il en soit, des difficultés évidentes se profilent en ce qui concerne la diffusion des nouvelles technologies de production et l'émergence d'une nouvelle génération d'institutions de diffusion technologique. De nouvelles technologies et des modèles prometteurs vont faire leur apparition alors que les approches utilisées actuellement sont bien ancrées dans les installations industrielles et les écosystèmes existants. Pour citer un exemple, les usines totalement intégrées et automatisées qui étaient proposées dans les années 80 ne se sont pas concrétisées comme prévu, en partie à cause de la difficulté à les intégrer aux chaînes d'approvisionnement existantes, et également du fait du raccourcissement du cycle de vie des produits. Il faudra du temps, de la patience et des capacités d'expérimentation pour définir de nouvelles modalités d'assimilation et de diffusion de la technologie. Or dans bien des cas, les pouvoirs publics veulent voir rapidement des résultats, sans prendre de risque. De surcroît, alors que les nouvelles technologies de production sont souvent mises en avant pour leur utilité publique et leur capacité à résoudre les défis sociétaux, les modèles de financement et d'évaluation qu'utilisent de nombreuses institutions publiques de diffusion technologique conduisent à privilégier le nombre de clients et les recettes plutôt que l'intérêt général. On met parfois l'accent sur la diffusion des technologies les plus avancées, alors que beaucoup d'entreprises et d'utilisateurs ne disposent pas des capacités nécessaires pour les assimiler. Il faut donc adopter plutôt une approche pragmatique, qui s'appuie sur l'établissement de relations durables afin de développer des capacités qui permettront de mettre en œuvre des stratégies plus avancées. La dépendance à la trajectoire des institutions de diffusion technologique risque elle aussi de susciter des blocages, qui empêcheront d'améliorer les compétences, les services et les modèles économiques. Les préoccupations concernant la responsabilité des pouvoirs publics, conjuguées au climat d'austérité qui règne dans nombre de pays, pourraient faire hésiter les institutions en place à prendre le risque du changement, ce qui risquerait de ralentir l'émergence d'institutions de diffusion technologique plus performantes.

Par ailleurs, si des institutions de diffusion technologique efficaces sont indispensables à l'avènement de la prochaine révolution de la production, en particulier pour les PME, ces institutions ne peuvent pas tout faire. L'ampleur, la portée et la qualité de la diffusion technologique qui aura lieu dans le cadre de la prochaine révolution de la production dépendront également du cadre national et régional des systèmes d'innovation. L'amélioration du financement, de l'infrastructure et de la formation (notamment professionnelle) aura de l'importance à cet égard.

Recommandations

C'est le fil conducteur du présent chapitre, les politiques publiques doivent intégrer la diffusion technologique et ses institutions à la prochaine révolution de la production, dès ses prémices. Bien que l'accent soit mis inévitablement sur les progrès sensationnels de la recherche et le potentiel que représentent les toutes dernières technologies mises au point, leur utilité pour l'économie et pour la société ne sera optimale que si ces technologies sont conçues de façon responsable et déployées avec l'aide des utilisateurs et autres parties prenantes, et si elles peuvent être transposées à grande échelle, diffusées et utilisées plus efficacement. La modernisation et la réorganisation des capacités des institutions de diffusion technologique, de même que l'intégration de ces institutions dans les stratégies de la prochaine révolution de la production, sont des étapes essentielles. Elles font l'objet des recommandations formulées dans l'encadré 7.2 ci-après.

Encadré 7.2. **Recommandations à l'intention des pouvoirs publics : l'intégration des institutions de diffusion technologique dans la prochaine révolution de la production**

- **Prendre conscience que des institutions efficaces sont indispensables à l'avènement généralisé de la prochaine révolution de la production.** Le rôle et la mission de ces institutions doivent être intégrés aux stratégies associées à cette révolution. Il convient de remédier, le cas échéant, à l'absence ou à l'insuffisance des capacités nécessaires, d'encourager la création de nouvelles institutions de diffusion technologique, de favoriser l'expérimentation et l'apprentissage, et de renforcer le développement de nouvelles compétences et de nouveaux modèles économiques.
- **Améliorer les pratiques de diffusion des technologies et les partager.** Les institutions chargées de diffuser les technologies doivent être encouragées à passer systématiquement en revue leurs pratiques et leurs approches en matière de prestation de services, à s'assurer que ces pratiques sont efficaces et adaptées à la communauté visée, à expérimenter de nouvelles approches et à les étendre à mesure que les besoins évoluent, et à échanger des connaissances sur les pratiques. Il faut pour cela que les pouvoirs publics accordent l'attention nécessaire à la stratégie, à l'affectation des ressources, au soutien opérationnel de l'équipe de direction, à la formation du personnel, à l'analyse et à l'évaluation, ainsi qu'à l'échange de connaissances.
- **Dégager une convergence de vues et élaborer des actions conjointes pour concrétiser la prochaine révolution de la production.** La production de nouvelle génération suppose des changements au sein des entreprises, mais nécessite aussi la contribution et la coordination des chaînes de valeur, des secteurs et des pôles d'activité. La mission n'est pas seulement technique. Il faut également faire participer les entreprises, les fournisseurs, les utilisateurs et les institutions intermédiaires aux stratégies collaboratives afin d'exploiter au mieux les attributs du système et du réseau qui sont

**Encadré 7.2. Recommandations à l'intention des pouvoirs publics :
l'intégration des institutions de diffusion technologique
dans la prochaine révolution de la production (suite)**

associés à la prochaine révolution de la production. Ces collaborations devront s'étendre au-delà des frontières nationales et régionales.

- **Mettre en place des politiques-cadres complémentaires du système d'innovation, des mesures indirectes et des incitations agissant sur la demande** afin d'intégrer et d'amplifier les effets des institutions de diffusion technologique. Il est impératif d'accorder l'attention voulue au panachage des mesures et aux liens organisationnels si l'on veut s'assurer de la diffusion effective des résultats de la recherche et des progrès technologiques, et de l'intégration de la diffusion technologique aux politiques y afférentes (notamment en termes de financement, d'infrastructure, d'amélioration des compétences et de passation de marchés).
- **Faire en sorte que les objectifs de durabilité, et de recherche et d'innovation responsables soient pris en compte, dès ses prémices, dans la prochaine révolution de la production.** Les aspects économiques, sociaux et environnementaux doivent avoir leur place dans les politiques publiques relatives aux institutions de diffusion technologique. Cela passe par un dialogue avec les clients, les différentes parties prenantes et les publics visés, ainsi que par une utilisation plus poussée des méthodes prospectives.
- **S'assurer que la diffusion des technologies tient compte des besoins des PME.** Bien que les institutions de diffusion technologique travaillent avec de nombreux types d'entreprises, il importe d'aider les PME à acquérir les capacités d'assimilation et de transformation nécessaires pour prendre leur place dans la prochaine révolution de la production et en tirer profit.
- **Remédier aux insuffisances de l'action publique en matière de diffusion technologique.** Veiller à ce que les programmes de modernisation des entreprises existantes (c'est-à-dire la majorité des entreprises) disposent de ressources suffisantes, de même que les programmes visant à promouvoir le développement des technologies de pointe et les start-ups. Mettre au point des mécanismes de gestion permettant de réformer (ou de remplacer) les institutions présentant une dépendance au sentier et une résistance au changement. S'assurer que les évaluations gouvernementales accordent plus d'importance au développement des capacités à long terme qu'aux résultats limités à court terme. Promouvoir les approches de conception/construction/mise à l'essai pouvant être expérimentées dans le cadre de nouveaux modèles de diffusion des technologies, et encourager la prise en compte des enseignements tirés de ces expérimentations par les institutions de diffusion technologique nouvelles et existantes.

Corollaire des recommandations énoncées ci-dessus – qui mettent l'accent sur le renforcement des rôles et sur la contribution des institutions de diffusion technologique à la transformation du secteur manufacturier –, il existe des pratiques que les responsables de l'action publique doivent s'efforcer d'éviter. La première est peut-être celle qui consiste à concentrer l'attention et les ressources sur les politiques de soutien aux grandes découvertes et aux technologies de laboratoire attrayantes, en négligeant – ou tout au moins en ne soutenant pas suffisamment – la diffusion des nouvelles technologies et leur transposition à plus grande échelle.

Par ailleurs, la diffusion des nouvelles technologies ne pourra pas se faire uniquement en renforçant les transferts de technologie depuis les universités (qui, généralement, concernent

surtout des travaux scientifiques au stade initial). Elle ne saurait non plus être assurée au moyen de programmes généraux d'aide aux entreprises (allègements fiscaux, prêts ou services de planification stratégique conventionnels). La diffusion des technologies requiert des mécanismes intermédiaires efficaces d'interaction humaine et d'échange de connaissances tacites. De plus, même si les communications électroniques et les ressources du web sont désormais des outils indispensables, il ne suffit pas de les utiliser pour donner accès à des outils d'évaluation ou des documents de présentation : l'intervention de spécialistes expérimentés, possédant des connaissances et des compétences relationnelles, est nécessaire pour comprendre les problèmes et mettre au point des solutions personnalisées.

Le procédé peut-être le plus courant pour assurer la diffusion des nouvelles technologies consiste à cibler les primo-adoptants probables. Ces derniers sont généralement de grandes multinationales, des start-ups de haute technologie et quelques entreprises spécialisées dans la mise au point de technologies. L'attention des pouvoirs publics doit être dirigée non seulement vers ces précurseurs, mais aussi vers les PME en place, qui sont beaucoup plus nombreuses. Toutes les PME n'ont pas la capacité ou la volonté de se moderniser, mais nombre d'entre elles peuvent être incitées et aidées à adopter de nouvelles technologies et de nouvelles approches en matière de fabrication par les institutions chargées de diffuser les technologies. Le succès de la prochaine révolution de la production dépendra en grande partie de cette adoption par les PME, ce qui aura des effets de levier sur les chaînes d'approvisionnement et les pôles d'activité régionaux, où les PME prédominent.

La raison affichée pour justifier le soutien public aux institutions de diffusion technologique est elle aussi importante. Les mesures prises en ce sens ne doivent pas être présentées comme des programmes visant à restaurer des emplois perdus dans le secteur manufacturier ou à redynamiser rapidement d'anciennes régions industrielles. Les institutions de diffusion technologique peuvent aider aujourd'hui les entreprises à modifier leurs méthodes de gestion ainsi qu'à adopter de nouvelles technologies et à concevoir de nouveaux produits et stratégies commerciales, pour qu'elles puissent poursuivre leurs activités et renforcer leurs capacités à proposer des emplois de qualité (même si l'introduction de nouvelles technologies peut entraîner la modification du profil des emplois et de leurs attributions). Il faudra probablement un certain temps (entre cinq et dix ans, voire plus) pour que se fassent sentir les principaux effets positifs de l'action des institutions de diffusion technologique sur l'amélioration des capacités et des performances des entreprises manufacturières en termes d'assimilation des technologies de la prochaine révolution de la production. Les institutions, comme les entreprises, ont besoin de temps pour nouer des relations approfondies et des collaborations. En vérité, d'importants efforts seront nécessaires, pendant de nombreuses années, avant que les interactions de la diffusion technologique – si elles sont importantes – ne produisent des résultats. Cela signifie qu'il faut doter les institutions de diffusion technologique des pouvoirs et des ressources qui leur permettront d'inscrire leur action dans une perspective à long terme. S'il est souhaitable que les services et les programmes soient empreints de flexibilité, en revanche, l'instabilité ou les perspectives à court terme des institutions ont peu de chances de conduire à des pratiques efficaces.

Il ressort du présent chapitre que l'avènement généralisé de la prochaine révolution de la production passe par des institutions de diffusion technologique efficaces. Les responsables de l'action publique en sont en général conscients, mais ils ont tendance à l'oublier ensuite lorsqu'il s'agit de consacrer de l'attention et des ressources à ces institutions. Il est important de remédier à cette situation. Les bienfaits de la diffusion iront généralement aux entreprises et aux systèmes qui parviennent le mieux à déployer les technologies et les modèles

économiques de la prochaine révolution de la production. Ce chapitre a également rappelé la nécessité de mettre en place des politiques-cadres complémentaires du système d'innovation, des mesures indirectes et des incitations agissant sur la demande afin d'intégrer et d'amplifier les effets des institutions de diffusion technologique.

Une autre tâche importante – et un défi – pour ces institutions sera de dégager une convergence de vues et d'élaborer des actions conjointes en vue de concrétiser la prochaine révolution de la production. De par son caractère systématique et réticulaire, cette révolution demandera, sur de nombreux plans, une coopération étroite entre les fabricants, les utilisateurs et autres catégories d'acteurs. Cela signifie que les institutions de diffusion technologique – qui travaillent souvent seule sur un projet donné – doivent aujourd'hui mettre en place des stratégies et des actions qui puissent s'inscrire dans un contexte de collaboration entre plusieurs acteurs. Elles doivent s'affranchir des frontières (nationales et régionales) pour accéder aux connaissances et mener de nouvelles actions conjointes. Elles doivent aussi répondre à des objectifs de durabilité, et de recherche et d'innovation responsables pour contribuer à l'avènement de la prochaine révolution de la production.

Les grandes entreprises seront sans doute plus promptes à adopter de nouvelles technologies et de nouveaux modèles économiques, tandis que les start-ups, de leur côté, joueront un rôle important de par les technologies de rupture qu'elles mettent en œuvre. Cela dit, l'un des objectifs fondamentaux de la diffusion technologique est de faire en sorte que les PME existantes soient parties prenantes à ces mutations, que les stratégies et les services soient adaptés et abordables, et qu'un plus grand nombre de ces entreprises soient encouragées à améliorer leurs capacités d'assimilation et de transformation.

Il importe de pallier les insuffisances de l'action publique en matière de diffusion technologique. Il s'agit en l'occurrence de consacrer l'attention et les ressources voulues à cette diffusion, de veiller à ce que les systèmes d'évaluation soient axés comme il se doit sur le long terme plutôt que sur le court terme, et enfin d'encourager l'expérimentation d'approches nouvelles et créatives pour en intégrer ensuite les enseignements dans les institutions de diffusion technologique nouvelles et existantes.

Enfin, il est indispensable d'examiner et d'analyser en permanence les configurations organisationnelles et les nouveaux modèles qui sont efficaces pour la diffusion technologique, dans un contexte où les conditions de la prochaine révolution de la production ne cessent d'évoluer. Mais pour importants qu'ils soient, les évaluations et le partage des bonnes pratiques ne sont pas suffisants. Il faut, plus fondamentalement, mettre en œuvre des dispositifs et des approches de management qui pousseront les institutions de diffusion technologique à moderniser leurs méthodes et à en expérimenter de nouvelles, à intégrer des technologies novatrices et des méthodes responsables dans leurs propres activités, et à améliorer les capacités d'assimilation des clients et des utilisateurs.

Notes

1. Il convient de noter que cette acception de la technologie suppose que cette dernière est placée sous le contrôle de l'être humain, que ce soit volontairement ou en dernier ressort. Or, le contrôle de la technologie fait l'objet d'éternels débats (voir par exemple Winner, 1997), les technologies autonomes ayant suscité récemment des inquiétudes croissantes (Bostrom, 2014).
2. Pour un examen plus approfondi de la diffusion technologique et des concepts connexes de diffusion des connaissances et de l'innovation, voir par exemple Geroski (2000), Everett (2003), ainsi que Stoneman et Battisti (2010).

3. Bayh-Dole Patent and Trademark Amendments Act of 1980, Pub. L. N° 96-517 (12 décembre 1980), 35 USC §§200-12.
4. Pour comprendre comment certaines nouvelles technologies viennent à s'imposer, plusieurs facteurs sont à prendre en compte, en particulier dans un contexte de rivalité et de concurrence (notamment des conditions d'appropriabilité et des actifs complémentaires ; voir par exemple Teece, 1986). Pour autant, en règle générale, la diffusion d'une technologie dominante est essentielle pour assurer des retombées positives (en particulier des transferts sectoriels et sociaux, ainsi que des gains privés).
5. The American Innovation and Competitiveness Act of 2017, Pub. L. 114-329 (6 janvier 2017).
6. 21st Century Nanotechnology Research and Development Act of 2003, Pub. L. 108-153 (3 décembre 2003), 15 USC 7501.
7. Les informations fournies dans cette section proviennent notamment des entretiens réalisés à Singapour par J. Youtie en mars 2016.
8. Pour en savoir plus sur le KTN, voir : www.ktn-uk.co.uk/.
9. Informations disponibles sur le site : www.clusterplattform.de/SiteGlobals/CLUSTER/Forms/Suche/EN/Clustersearch_Form.html (consulté le 12 janvier 2017).
10. D'après un entretien avec le conseiller en chef et directeur de BioBricks le 29 août 2016, ainsi que la consultation du site web de BioBricks (<https://biobricks.org>).
11. www.manufacturingusa.com/ (consulté le 12 janvier 2017).
12. <https://catapult.org.uk> (consulté le 12 janvier 2017).
13. La Chine a lancé un programme national de modernisation du secteur manufacturier, baptisé « Made in China 2025 » (China State Council, 2015). Voir aussi le site <http://english.gov.cn/2016special/madeinchina2025/> (consulté le 12 janvier 2017).
14. Cell Therapy Catapult a signé un protocole d'accord avec la préfecture de Kanagawa, Japon. <https://ct.catapult.org.uk/news-media/regulatory-news/cell-therapy-catapult-signs-memorandum-understanding-kanagawa-prefecture> (consulté le 12 janvier 2017).
15. <https://es.catapult.org.uk/> (consulté le 12 janvier 2017).
16. La définition générale de la durabilité englobe les volets environnemental, économique et social. Cette section porte sur la durabilité environnementale, mais les volets économique et social sont abordés dans la section relative à la recherche et l'innovation responsables.
17. Engineering and Physical Sciences Research Council, Framework for Responsible Innovation, www.epsrc.ac.uk/research/framework/ (consulté le 12 janvier 2017).

Références

- Alessi, C. et C. Gummer (2014), « Germany bets on "smart factories" to keep its manufacturing edge », *Wall Street Journal*, 26 octobre, www.wsj.com/articles/germany-bets-on-smart-factories-to-keep-its-manufacturing-edge-1414355745.
- Aldrich, H. et D. Herker (1977), « Boundary spanning roles and organization structure », *Academy of Management Review*, vol. 2, n° 2, pp. 217-230, <http://dx.doi.org/10.5465/AMR.1977.4409044>.
- Baden-Fuller, C. et S. Haefliger (2013), « Business models and technological innovation », *Long Range Planning*, vol. 46, n° 6, pp. 419-426, <http://dx.doi.org/10.1016/j.lrp.2013.08.023>.
- Bakhshi, H. et al. (2015), « Assessing an experimental approach to industrial policy evaluation: Applying RCT+ to the case of Creative Credits », *Research Policy*, vol. 44, n° 8, pp. 1462-1472, <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2015.04.004>.
- Birtchnell, T. et W. Hoyle (2014), *3D Printing for Development in the Global South: The 3D4D Challenge*, Palgrave Macmillan, Basingstoke.
- Blank, S. (2013), « Why the lean start-up changes everything », *Harvard Business Review*, vol. 91, n° 5, pp. 63-72.
- Blind, K., S.S. Petersen et C.A.F. Riillo (2016), « The impact of standards and regulation on innovation in uncertain markets », *Research Policy*, vol. 46, n° 1, <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2016.11.003>.
- BMW (Ministère fédéral allemand de l'Économie et de l'Énergie) (2010), « Cluster management excellence. Volume II : Sustainability and effectiveness of clusters and networks », initiative du Kompetenznetze Deutschland, Ministère fédéral de l'Économie et de la Technologie, Berlin.

- Bostrom, N. (2014), *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*, Oxford University Press, Oxford.
- Bound, K. et al. (2014), *China's Absorptive State: Research, Innovation and the Prospects for China-UK Collaboration*, Nesta, Londres, www.nesta.org.uk/sites/default/files/chinas_absorptive_state_0.pdf (consulté le 12 janvier 2017).
- Bozeman, B. (2000), « Technology transfer and public policy: A review of research and theory », *Research Policy*, vol. 29, n° 4-5, pp. 627-655, [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00093-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00093-1).
- Brennan, L. et al. (2015), « Manufacturing in the world: Where next? », *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 35, n° 9, pp. 1253-1274, <http://dx.doi.org/10.1108/IJOPM-03-2015-0135>.
- Buffington, J. (2016), *Frictionless Markets: The 21st Century Supply Chain*, Springer International Publishing Cham, Suisse.
- Caiazza, R. et T. Volpe (2017), « Innovation and its diffusion: Process, actors and actions », *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 29, n° 2, pp. 181-189, <http://dx.doi.org/10.1080/09537325.2016.1211262>.
- Chesbrough, H., W. Vanhaverbeke et J. West (dir. pub.) (2014), *New Frontiers in Open Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- Conseil des Affaires d'État de la République de Chine (2015), *中国制造 2025 (Made in China 2025)*, Conseil des Affaires d'État, Pékin, République populaire de Chine, <http://community.iotone.com/uploads/secondsite/original/1X/3ea7f668ee18d9dee5b6afa32da17b40cc8e5b66.pdf> (consulté le 12 janvier 2017).
- Cohen, W.M. et D.A. Levinthal (1990), « Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation », *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, n° 1, pp. 128-152, <http://dx.doi.org/10.2307/2393553>.
- CORFO (2016), « Voucher de Innovación », [chèque-innovation], page web, Corporación de Fomento de la Producción de Chile, Santiago, Chili, www.corfo.cl/programas-y-concursos/programas/voucher-de-innovacion (consulté le 12 janvier 2017).
- Cornet, M., B. Vroomen et M. van der Steef (2006), « Do innovation vouchers help SMEs to cross the bridge towards science? » CPB Discussion Paper 58, Bureau néerlandais d'analyses de politique économique CPB, La Haye, www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/do-innovation-vouchers-help-smes-cross-bridge-towards-science.pdf (consulté le 12 janvier 2017).
- CREATE (2016), « Campus for Research Excellence and Technological Enterprise (CREATE) », page web, Fondation nationale pour la Recherche (NRF), www.nrf.gov.sg/about-nrf/programmes/create (consulté le 27 octobre 2016).
- Cunningham, P. et R. Ramlogan (2016), « The impact of innovation networks », in J. Edler, P. Cunningham, A. Göck et P. Shapira, (dir. pub.), *Handbook of Innovation Policy Impact*, Edward Elgar, Cheltenham.
- DG ENTR-Unit D2 (2009), *Availability and Focus on Innovation Voucher Schemes in European Regions*, Direction générale des entreprises et de l'industrie, Commission européenne, Bruxelles, <http://wbc-inco.net/object/document/7801/attach/Innovationvouchersurveyresults.pdf> (consulté le 12 janvier 2017).
- DMC (Digital Manufacturing Commons) (2016), « Digital Manufacturing Commons », site web, www.projectdmc.org/, (consulté le 27 octobre 2016).
- Dutta, S. et B. Lanvin (dir. pub.) (2013), *The Global Innovation Index 2013: The Local Dynamics of Innovation*, Université Cornell, INSEAD et OMPI, Ithaca, Fontainebleau et Genève, www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/economics/gii/gii_2013.pdf (consulté le 12 janvier 2017).
- Edler, J. (2016), « The impact of policy measures to stimulate private demand for innovation », in J. Edler, P. Cunningham, A. Göck et P. Shapira, (dir. pub.), *Handbook of Innovation Policy Impact*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Edler, J. (2010), « Demand-based innovation policy », in R.E. Smits, S. Kuhlmann et P. Shapira, (dir. pub.), *The Theory and Practice of Innovation Policy: An International Research Handbook*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Ekert, D., V. Schüren et A. Bode (2016), « Evaluation des Programms go-cluster des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), InterVal, Berlin », [Evaluation du programme « Go-cluster » du Ministère fédéral allemand de l'Économie et de l'Énergie (BMWi), InterVal, Berlin], www.clusterplattform.de/CLUSTER/Redaktion/DE/Downloads/Publikationen/kurzfassung_evaluation_des_programms_go_cluster.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (consulté le 12 janvier 2017).
- Engel, J. (dir. pub.) (2014), *Global Clusters of Innovation: Entrepreneurial Engines of Economic Growth Around the World*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Everett, R.M. (2003), *Diffusion of Innovations*, Fifth Edition, Free Press, New York.

- Fisher, E. et R.L. Mahajan (2006), « Contradictory intent? US federal legislation on integrating societal concerns into nanotechnology research and development », *Science and Public Policy*, vol. 33, n° 1, pp. 5-16, <http://dx.doi.org/10.3152/147154306781779181>.
- Flanagan, K., E. Uyarra et M. Laranja (2011), « Reconceptualising the “policy mix” for innovation », *Research Policy*, vol. 40, n° 5, pp. 702-713, <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2011.02.005>.
- Fleck, J. (1997), « Contingent knowledge and technology development », *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 9, n° 4, pp. 383-398, <http://dx.doi.org/10.1080/09537329708524293>.
- Foresight (2013), *The Future of Manufacturing: A New Era of Opportunity and Challenge for the UK*, Government Office for Science, Londres.
- Fraunhofer (2016), « Fraunhofer-Gesellschaft – About Fraunhofer », page web, www.fraunhofer.de/en.html (consulté le 27 octobre 2016).
- Freeman, R., C. McMahon et P. Godfrey (2016), « Design of an integrated assessment of re-distributed manufacturing for the sustainable, resilient city », in R. Setchi et al. (dir. pub.), *Sustainable Design and Manufacturing 2016*, Smart Innovation, Systems and Technologies, vol. 52, pp. 601-612, Springer, Heidelberg, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-32098-4_51.
- Geels, F.W. (2002), « Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study », *Research Policy*, vol. 31, pp. 1257-1274, [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8).
- Geroski, P. (2000), « Models of technology diffusion », *Research Policy*, vol. 29, n° 4-5, pp. 603-625, [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00092-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00092-X).
- Govindarajan, V. et C. Trimble (2004), « Strategic Innovation and the Science of Learning », *MIT Sloan Management Review*, vol. 45, n° 2, pp. 67-75.
- Gregorowius, D. et A. Deplazes-Zemp (2016), « Societal impact of synthetic biology: Responsible research and innovation (RRI) », *Essays in Biochemistry*, vol. 60, n° 4, pp. 371-379, <http://dx.doi.org/10.1042/EBC20160039>.
- Hagerty, J. (2013), « Forget revolution. More like renovation. At many US manufacturing plants, the winds of change have barely caused a ripple », *Wall Street Journal*, 10 juin, www.wsj.com/articles/SB10001424127887323372504578469781201089200 (consulté le 27 octobre 2016).
- Hekkert, M.P. et al. (2007), « Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change », *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 74, n° 4, pp. 413-432, <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>.
- Helmsley Charitable Trust (2016), « The BioBricks Foundation », page web, <http://helmsley79.rssing.com/browser.php?indx=52025383&item=5> (consulté le 27 octobre 2016).
- Horlings, L.G. (2014), « Leadership, governance and knowledge in an enterprising place: The case of Brainport Eindhoven in the Netherlands », in L. Pugalis et J. Liddle (dir. pub.), *Enterprising Places: Leadership and Governance Networks*, Emerald Group Publishing Limited, Bingley, pp. 149-175.
- Kagermann, H., W. Wahlster et J. Helbig (dir. pub.) (2013), *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*, sous l'égide du Ministère fédéral allemand de l'Éducation et de la Recherche, www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf.
- Kaufmann, A. et F. Tödtling (2001), « Science-industry interaction in the process of innovation: The importance of boundary-crossing between systems », *Research Policy*, vol. 30, n° 5, pp. 791-804, [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00118-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00118-9).
- Kochenkova, A., R. Grimaldi et F.J. Munari (2016), « Public policy measures in support of knowledge transfer activities: A review of academic literature », *Journal of Technology Transfer*, vol. 41, n° 3, pp. 407-429, <http://dx.doi.org/10.1007/s10961-015-9416-9>.
- La Maison-Blanche (2016), « President Obama announces winner of new Smart Manufacturing Innovation Institute and New Manufacturing Hub competitions », Fact Sheet, 20 juin, Bureau exécutif du président, Maison-Blanche, Washington, DC, www.whitehouse.gov/the-press-office/2016/06/20/fact-sheet-president-obama-announces-winner-new-smart-manufacturing.
- Langhorn, K. (2014), « Encouraging entrepreneurship with innovation vouchers: Recent experience, lessons, and research directions », *Administration publique du Canada*, vol. 57, n° 2, pp. 318-326, <http://dx.doi.org/10.1111/capa.12070>.

- Manyika, J. et al. (2015), *Global Growth: Can Productivity Save the Day in an Aging World?*, McKinsey Global Institute, San Francisco.
- Michelson, E. (2016), *Assessing the Societal Implications of Emerging Technologies. Anticipatory Governance in Practice*, Routledge, Abingdon.
- McBride, N. et B. Stahl (2014), « Developing responsible research and innovation for robotics », *Proceedings of the IEEE 2014 International Symposium on Ethics in Engineering, Science, and Technology (ETHICS '14)*, 27, IEEE Press, Piscataway, NJ, <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2960620> (consulté le 12 janvier 2017).
- Moreno, M. et F. Charnley (2016), « Can re-distributed manufacturing and digital intelligence enable a regenerative economy? An integrative literature review », in R. Setchi et al. (dir. pub.), *Sustainable Design and Manufacturing 2016. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol. 52, pp. 563-575, Springer, Heidelberg, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-32098-4_48.
- NAE (2015), *Making Value for America: Embracing the Future of Manufacturing, Technology, and Work*, Committee on Foundational Best Practices for Making Value for America, Académie nationale d'ingénierie des États-Unis, National Academies Press, Washington, DC.
- NAE (2012), « Making things: 21st century manufacturing & design », compte rendu d'un symposium de l'Académie nationale d'ingénierie des États-Unis, National Academies Press.
- NAPA (2003), *The National Institute of Standards and Technology's Manufacturing Extension Partnership Report 1: Re-examining the Core Premise of the MEP Program*, National Academy of Public Administration, Washington, DC.
- OCDE (2016), « The next production revolution: An interim project report », document interne, OCDE, Paris.
- OCDE (2015), *The Future of Productivity*, Éditions OCDE, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264248533-en>.
- OCDE (2010a), *Eco-innovation in Industry: Enabling Green Growth*, Éditions OCDE, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264077225-en>.
- OCDE (2010b), « Innovation vouchers », OCDE, Paris, www.oecd.org/innovation/policyplatform/48135973.pdf.
- OCDE (1998), *Technology, Productivity and Job Creation: Best Practices 1998 Edition*, Éditions OCDE, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264163416-en>.
- Osterwalder, A. et Y. Pigneur (2010), *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Owen, R., J. Bessant et M. Heintz (dir. pub.) (2013), *Responsible Innovation: Managing the Emergence of Science and Innovation in Society*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Park, Y.-T. (1999), « Technology diffusion policy: A review and classification of policy practices », *Technology in Society*, vol. 21, n° 3, pp. 275-286, [http://dx.doi.org/10.1016/S0160-791X\(99\)00015-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0160-791X(99)00015-9).
- Pearson, H., G. Noble et J. Hawkins (2013), *Workshop on Re-distributed Manufacturing. Technical Report*, Engineering and Physical Sciences Research Council, Swindon, Royaume-Uni, www.epsrc.ac.uk/newsevents/pubs/re-distributed-manufacturing-workshop-report/.
- Prendeville S. et al. (2016), « Makespaces: From redistributed manufacturing to a circular economy », in R. Setchi et al. (dir. pub.), *Sustainable Design and Manufacturing 2016: Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol. 52, Springer International Publishing, Cham, Suisse.
- Rauch, E., P. Dallasega et D.T. Matt (2016), « Sustainable production in emerging markets through Distributed Manufacturing Systems (DMS) », *Journal of Cleaner Production*, vol. 135, n° 1, pp. 127-138, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.106>.
- Rogers, J.D., J. Youtie et L. Kay (2012), « Program-level assessment of research centers: Contribution of Nanoscale Science and Engineering Centers to US Nanotechnology National Initiative goals », *Research Evaluation*, vol. 21, n° 5, pp. 368-380, <http://dx.doi.org/10.1093/reseval/rvs028>.
- Sala, A., P. Landoni et R. Verganti (2015), « Small and medium enterprises collaborations with knowledge intensive services: An explorative analysis of the impact of innovation vouchers », *R&D Management*, vol. 46, n° S1, pp. 291-302, <http://dx.doi.org/10.1111/radm.12196>.
- Saunders, T. et J. Kingsley (2016), *Made in China: Makerspaces and the search for mass innovation*, Nesta, Londres, www.nesta.org.uk/sites/default/files/made_in_china_-_makerspaces_report.pdf (consulté le 12 janvier 2017).
- Shapira, P. et al. (2015), *Institutions for Technology Diffusion*, banque interaméricaine de développement, Washington, DC, <https://publications.iadb.org/handle/11319/6994> (consulté le 12 janvier 2017).

- Shapira, P. et A. Gök (2015), « UK Synthetic Biology Centres tasked with addressing public concerns », *The Guardian*, 30 janvier, www.theguardian.com/science/political-science/2015/jan/30/uk-synthetic-biology-centres-tasked-with-addressing-public-concerns (consulté le 12 janvier 2017).
- Solberg, E. et al. (2012), *Markets for Applied Research: A Comparative Analysis of R&D Systems in Five Countries*, Rapport 46/2010, Nordic Institute for Studies in Innovation and Research (NIFU), Oslo.
- Stilgoe, J., R. Owen et P. Macnaghten (2013), « Developing a framework for responsible innovation », *Research Policy*, vol. 42, n° 9, pp. 1568-1580, <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2013.05.008>.
- Stoneman, P. et G. Battisti (2010), « The diffusion of new technology », in B.H. Hall et N. Rosenberg (dir. pub.), *Handbook of the Economics of Innovation*, vol. 2, pp. 733-760.
- SynbiCITE (2016), « SynbiCITE », site web de l'entreprise, www.synbicite.com/ (consulté le 27 octobre 2016).
- Teece, D.J. (1986), « Profiting from technological innovation », *Research Policy*, vol. 15, n° 6, pp. 285-305, [http://dx.doi.org/10.1016/0048-7333\(86\)90027-2](http://dx.doi.org/10.1016/0048-7333(86)90027-2).
- Tushman, M. (1977), « Special boundary roles in the innovation process », *Administrative Science Quarterly*, vol. 22, n° 4, pp. 587-605, <http://dx.doi.org/10.2307/2392402>.
- UE (Union européenne) (2012), « Responsible research and innovation: Europe's ability to respond to societal challenges », Office des publications, Commission européenne, Luxembourg, https://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_public_engagement/responsible-research-and-innovation-leaflet_en.pdf (consulté le 12 janvier 2017).
- UK Synthetic Biology Roadmap Coordination Group (2012), *A Synthetic Biology Roadmap for the UK*, Technology Strategy Board, Swindon, Royaume-Uni, www.rcuk.ac.uk/documents/publications/syntheticbiologyroadmap-pdf/ (consulté le 12 janvier 2017).
- US Census Bureau (2016), « Economic Census », Government Printing Office, Washington, DC, www.census.gov/programs-surveys/economic-census.html.
- US Government Accountability Office (2011), *NIST Manufacturing Extension Partnership Program Cost Share*, GAO-11-437R, Bureau d'impression du gouvernement, Washington, DC.
- US NNMI (2016), « Manufacturing USA – The national network for manufacturing innovation », site web, www.manufacturing.gov/nnmi/ (consulté le 27 octobre 2016).
- US NSF (2016), *NSF Budget Requests to Congress and Annual Appropriations*, National Science Foundation, Bureau d'impression du gouvernement, Washington, DC, <https://nsf.gov/about/budget/> (consulté le 27 octobre 2016).
- Uyerra, E. (2016), « The impact of public procurement of innovation », in J. Edler et al. (dir. pub.), *Handbook of Innovation Policy Impact*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Virani, T.E. et A.C. Pratt (2016), « Intermediaries and the knowledge exchange process: The case of the creative industries and higher education », in R. Comunian et A. Gilmore (dir. pub.), *Higher Education and the Creative Economy: Beyond the Campus*, Routledge, Abingdon, pp. 41-58.
- Weilerstein, P. (2014), « NCIIA: Students as the vanguard in a geographically dispersed approach to stimulating science and technology innovation », in J. Engel (dir. pub.), *Global Clusters of Innovation: Entrepreneurial Engines of Economic Growth around the World*, pp. 359-377, Edward Elgar, Cheltenham.
- Wu, D. et al. (2015), « Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation », *Computer-Aided Design*, vol. 59, pp. 1-14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2014.07.006>.
- Youtie, J. et al. (2007), « A brief history of the future of manufacturing: U.S. manufacturing technology forecasts in retrospective, 1950-present », *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, vol. 3, n° 3, pp. 311-331.
- Youtie, J. et P. Shapira, (2016), « Exploring public values implications of the I-Corps program », *Journal of Technology Transfer*, pp. 1-15, <http://dx.doi.org/10.1007/s10961-016-9518-z>.
- Zaki, M. et al. (2017), « The role of big data to facilitate redistributed manufacturing using a co-creation lens: Patterns from consumer goods », 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Procedia CIRP.



Extrait de :
The Next Production Revolution
Implications for Governments and Business

Accéder à cette publication :
<https://doi.org/10.1787/9789264271036-en>

Merci de citer ce chapitre comme suit :

OCDE (2018), « La prochaine révolution de la production et les institutions de diffusion des technologies », dans *The Next Production Revolution : Implications for Governments and Business*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264280793-11-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à rights@oecd.org. Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) info@copyright.com ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) contact@cfcopies.com.