

**Rapport 2019 sur la propriété
intellectuelle dans le monde**

Répartition géographique de l'innovation: pôles de concentration locaux, réseaux mondiaux

**Rapport 2019 sur la propriété
intellectuelle dans le monde**

Répartition géographique de l'innovation: pôles de concentration locaux, réseaux mondiaux

Sauf indication contraire, la présente œuvre est publiée sous la licence Creative Commons – Attribution 3.0 IGO.

L'utilisateur est libre de reproduire, de diffuser, d'adapter, de traduire et d'interpréter en public le contenu de la présente publication, y compris à des fins commerciales, sans autorisation expresse, pour autant que l'OMPI soit mentionnée en tant que source et que toute modification apportée au contenu original soit clairement indiquée.

Mention suggérée: OMPI (2019). Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle 2019: Répartition géographique de l'innovation: pôles de concentration locaux, réseaux mondiaux. Genève, Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle.

Les adaptations, traductions et contenus dérivés ne peuvent en aucun cas arborer l'emblème ou le logo officiel de l'OMPI, sauf s'ils ont été approuvés et validés par l'OMPI. Pour toute demande d'autorisation, veuillez nous contacter par l'intermédiaire du site Web de l'OMPI.

Pour toute œuvre dérivée, veuillez ajouter la mention ci-après: "Le Secrétariat de l'OMPI décline toute responsabilité concernant la modification ou la traduction du contenu original".

Lorsque le contenu publié par l'OMPI comprend des images, des graphiques, des marques ou des logos appartenant à un tiers, l'utilisateur de ce contenu est seul responsable de l'obtention des droits auprès du ou des titulaires des droits.

Pour voir un exemplaire de cette licence, veuillez cliquer sur le lien suivant :

<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/>

Les appellations utilisées et la présentation des données qui figurent dans la présente publication n'impliquent de la part de l'OMPI aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Les opinions exprimées dans la présente publication ne reflètent pas nécessairement celles des États membres ou du Secrétariat de l'OMPI.

La mention d'entreprises particulières ou de produits de certains fabricants n'implique pas que l'OMPI les approuve ou les recommande de préférence à d'autres entreprises ou produits analogues qui ne sont pas mentionnés.

© OMPI, 2019

Organisation Mondiale
de la Propriété Intellectuelle
34, chemin des Colombettes, P.O. Box 18
CH-1211 Genève 20, Suisse

ISBN: 978-92-805-3096-4



Attribution 3.0 IGO
(CC BY 3.0 IGO)

Imprimé en Suisse

Table des matières

Avant-propos	4
Remerciements	7
Résumé	8
Notes techniques	141
Sigles	147

Chapitre 1

L'évolution de la répartition géographique de l'innovation dans le monde 17

1.1 Concentration de l'innovation dans des pôles métropolitains	18
1.2 Les réseaux et la diffusion de l'innovation dans le monde	25
1.3 Conclusions	29

Chapitre 2

Réseaux mondiaux de pôles d'innovation 35

2.1 Les deux aspects de la production mondiale de savoirs	37
2.2 Réseaux mondiaux de collaboration et d'approvisionnement	46
2.3 Innovation locale et réseaux mondiaux de pôles d'innovation	54
2.4 Conclusions	62

Chapitre 3

Constructeurs automobiles et sociétés de haute technologie sur la voie du véhicule autonome 69

3.1 Définitions	70
3.2 L'évolution de la technologie dans l'industrie automobile	70
3.3 Glissement technologique	75
3.4 Concurrence et coopération dans le domaine du véhicule autonome	75
3.5 Rôle de la géographie dans la technologie du véhicule autonome	78

3.6 Véhicule autonome : les pays et les villes en tête de l'innovation	79
3.7 La technologie du véhicule autonome est-elle en train de modifier la géographie de l'innovation dans l'industrie automobile?	86
3.8 Incidences positives et négatives possibles des véhicules autonomes	87

Chapitre 4

La biotechnologie végétale, un point de jonction entre innovation urbaine et application rurale 99

4.1 L'importance croissante de la biotechnologie végétale	100
4.2 Le paysage de l'innovation dans le domaine de la biotechnologie végétale	111
4.3 Le réseau de l'innovation en matière de biotechnologie végétale	119
4.4 L'avenir de la biotechnologie végétale	120

Chapitre 5

Perspectives de politique générale : plaidoyer en faveur de l'ouverture 129

5.1 L'économie de l'ouverture	129
5.2 L'ouverture à l'ère de la baisse de productivité de l'activité de recherche-développement	134

Avant-propos

La géographie a toujours joué un rôle central dans l'organisation de l'activité économique. Les villes se sont d'abord constituées en plaques tournantes du commerce des produits agricoles et manufacturés. Nombre d'entre elles sont apparues là où les routes commerciales se croisaient ou à l'endroit où les marchandises passaient d'un mode de transport à un autre. Avec le début de la révolution industrielle, les villes sont devenues des centres de production industrielle à grande échelle. Au fur et à mesure que l'industrialisation progressait, certaines se sont développées, devenant des mégalofoles, tandis que d'autres ont vu leur situation décliner.



Dans l'économie du XXI^e siècle axée sur l'innovation, les villes continuent de jouer un rôle central. Toutefois, les forces qui façonnent la répartition géographique de l'activité économique ont changé. Les entreprises veulent être situées dans des pôles d'innovation urbains, là où vivent les travailleurs les plus qualifiés et les plus talentueux. Les emplois bien rémunérés et gratifiants ainsi que l'effervescence de la vie urbaine attirent à leur tour davantage encore de personnes hautement qualifiées dans ces pôles d'innovation. L'innovation repose également de manière cruciale sur l'échange d'idées entre les personnes. De tels échanges se produisent généralement mieux lorsque les gens vivent et travaillent à proximité les uns des autres.

Pour autant, la géographie économique du XXI^e siècle revêt une autre dimension importante. La technologie a facilité de nouvelles façons de collaborer et de partager les connaissances, en mettant en contact des personnes qualifiées éloignées les unes des autres. Le nouveau paysage mondial de l'innovation est donc constitué de centres d'excellence situés dans le monde entier, géographiquement concentrés et intégrés dans un réseau mondial véhiculant des connaissances dans différents domaines.

L'évolution de la répartition géographique de l'innovation revêt une grande importance. Les gouvernements du monde entier s'efforcent de promouvoir un environnement politique propice à l'innovation. Pour ce faire, il est essentiel de comprendre la dynamique locale des écosystèmes de l'innovation. Par exemple, dans quel domaine la recherche financée par des fonds publics peut-elle le mieux améliorer les capacités technologiques émergentes? Comment une planification urbaine intelligente peut-elle encourager les possibilités de partage des connaissances et de collaboration? Plus généralement, la diffusion de l'activité d'innovation au sein des différents pays a une incidence croissante sur la répartition régionale des revenus. Le fait de comprendre les éléments moteurs de cette tendance permet, en conséquence, d'améliorer les réponses politiques.

Notre publication intitulée *Rapport 2019 sur la propriété intellectuelle dans le monde* offre une perspective empirique sur la répartition géographique de l'innovation dans le monde. Elle le fait en suivant l'empreinte

géographique que les innovateurs ont laissée dans des millions de brevets et de publications scientifiques au cours des dernières décennies. *L'Indice mondial de l'innovation* de l'OMPI a déjà adopté une telle approche, fondée sur l'utilisation de mégadonnées pour recenser les plus grands pôles scientifiques et technologiques dans le monde. Le présent rapport va plus loin. Il utilise davantage de données remontant à plusieurs décennies, analyse leur évolution dans le temps et étudie en détail comment les innovateurs du monde entier collaborent entre eux. Le tableau qui se dessine est complexe, avec un nombre limité de pôles d'innovation généraux dans quelques pays accueillant la plupart des activités d'innovation. La collaboration, très généralisée, a lieu au sein d'équipes de plus en plus vastes et – pour la plupart des pays, mais pas tous – elle revêt un caractère de plus en plus transfrontière.

Outre cette perspective économique, le rapport présente deux études de cas qui explorent en détail l'évolution de la répartition géographique de l'innovation dans deux domaines technologiques en rapide mutation. L'une des études de cas porte sur la technologie des véhicules autonomes. Elle explique en détail comment l'innovation est en train de remodeler l'industrie automobile, les entreprises spécialisées dans les technologies de l'information bousculant les constructeurs automobiles bien établis. Cette transformation élargit le paysage de l'innovation, plusieurs pôles d'innovation axés sur l'informatique – qui, traditionnellement, n'étaient pas au cœur de l'innovation dans le secteur automobile – ayant gagné en importance.

L'autre étude de cas porte sur la biotechnologie agricole. L'activité scientifique et inventive dans le domaine de la biotechnologie agricole est concentrée dans quelques pays à revenu élevé et en Chine et, au sein de ces pays, principalement dans de grandes régions métropolitaines. Par rapport à d'autres domaines d'innovation, cependant, elle est plus dispersée géographiquement, couvrant de nombreux pays d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie. Cette situation découle en partie de la nécessité d'adapter les innovations aux conditions locales.

Les données présentées dans le présent rapport montrent à quel point l'innovation est devenue interconnectée à l'échelle mondiale. Fondamentalement, la


Les données présentées dans le présent rapport montrent à quel point l'innovation est devenue interconnectée à l'échelle mondiale.

capacité des entreprises et des chercheurs à collaborer au-delà des frontières s'est appuyée sur des politiques favorisant largement l'ouverture et la coopération internationale. Le rapport plaide en faveur du maintien de l'ouverture politique et du renforcement de la coopération internationale. La résolution de problèmes technologiques de plus en plus complexes nécessitera des équipes de chercheurs de plus en plus nombreuses et spécialisées. La collaboration internationale contribue à la formation de ces équipes et sera donc indispensable pour repousser sans cesse la frontière technologique au niveau mondial.

Si elle offre des perspectives originales, l'analyse présentée dans le rapport est toutefois assortie de certaines réserves. Les données sur les brevets et les publications scientifiques fournissent des informations précieuses sur l'activité d'innovation, qui peuvent être comparées au niveau international. Cependant, elles ne rendent pas compte de toutes ces activités et ne décrivent pas pleinement la diversité des interactions entre innovateurs. En outre, l'orientation des réseaux mondiaux d'innovation est façonnée par des forces dynamiques, qui interagissent de façon complexe. Il serait très utile d'effectuer d'autres recherches qui fourniraient des indications concrètes sur ces forces.

Nous espérons que le présent rapport permettra de mieux faire comprendre l'importance que revêt la géographie pour l'activité d'innovation et qu'il aidera à affiner les politiques de promotion de l'innovation et à faire en sorte que ses avantages soient largement partagés.

Francis GURRY
Directeur général



Remerciements

Le présent rapport a été établi sous la direction de Francis Gurry (Directeur général) et sous la supervision de Carsten Fink (économiste en chef). Le rapport a été élaboré par une équipe supervisée par Julio Raffo (chef de la Section de l'économie de l'innovation), Intan Hamdan-Livramento (économiste), Maryam Zehtabchi (économiste) et Deyun Yin (boursière), tous de la Division de l'économie et des statistiques de l'OMPI.

Le rapport s'appuie sur différents documents de synthèse élaborés aux fins du présent rapport. Plus précisément, le chapitre 1 est fondé sur une analyse documentaire établie par Riccardo Crescenzi (London School of Economics (LSE)), Simona Iammarino (LSE), Carolin Ioramashvili (LSE), Andrés Rodríguez-Pose (LSE) et Michael Storper (LSE et Université de Californie à Los Angeles).

Ernest Miguelez (Groupe de recherche en économie théorique et appliquée (GREThA) à Bordeaux), Francesco Lissoni (GREThA Bordeaux et Université Bocconi), Christian Chacua (GREThA Bordeaux), Massimiliano Coda-Zabetta (GREThA Bordeaux) et Gianluca Tarasconi ont contribué au rapport de synthèse et à l'établissement des données pour le chapitre 2.

Le chapitre 3 fait fond sur des recherches de base menées par Kristin Dzikczek (Center for Automotive Research (CAR group)), Eric Dennis (CAR group), Qiang Hong (CAR group), Diana Douglas (CAR group), Yen Chen (CAR group), Valerie Sathe-Brugeman (CAR group) et Edwin Marples (CAR group).

Enfin, Gregory D. Graff (Université d'État du Colorado) a contribué au rapport de synthèse pour le chapitre 4.

L'équipe chargée d'élaborer le présent rapport a largement bénéficié de l'examen externe des projets de

chapitres et des documents de synthèse, ainsi que des observations formulées par Cristina Chaminade (Université de Lund), Frédérique Sachwald (Science and Technology Observatory, Hcéres), Maryann P. Feldman (Université de Caroline du Nord), Kazuyuki Motohashi (Université de Tokyo), Luciana Marques Vieira (School of Business Administration of Sao Paulo, FGV EAESP), José Maria da Silveira (Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP) et Can Huang (Université de Zhejiang).

Des contributions, observations et données additionnelles ont été fournies par Lesya Baudoin, Daniel Benoliel, Shakeel Bhatti, Maurice Blount, Lee Branstetter, Richard Corken, Alica Daly, Gaétan de Rassenfosse, Philipp Großkurth, Christopher Harrison, Irene Kitsara, Agénor Lahatte, Orion Penner, Leontino Rezende Taveira, David Sapinho, Florian Seliger et Usui Yoshiaki.

Hao Zhou et Kyle Bergquist ont aidé à compiler les données utilisées dans le rapport.

Samiah Do Carmo Figueiredo, Caterina Valles Galmès et Cécile Roure ont été d'une aide précieuse sur le plan administratif.

Enfin, nos remerciements vont également aux collègues de la Section de l'édition et de la publication de la Division des publications, qui ont piloté l'élaboration du rapport, notamment à Richard Waddington pour son travail d'édition. La bibliothèque de l'OMPI a fourni un appui précieux en matière de recherche tout au long de l'établissement du rapport, et l'imprimerie a fourni des services d'impression de haute qualité. Tous ont travaillé sans relâche pour respecter les stricts délais impartis.

Résumé

La répartition géographique de l'innovation peut sembler paradoxale : la production de connaissances scientifiques et l'innovation sont à la fois de plus en plus mondialisées et intensément concentrées dans quelques pôles locaux.

De nouveaux acteurs, en particulier les pays asiatiques, sont à l'origine d'un nombre croissant d'activités de recherche scientifique et d'inventions, un domaine autrefois presque exclusivement réservé à une poignée de pays riches. Cette expansion internationale accrue s'est parallèlement accompagnée, à l'échelle nationale, d'une concentration accrue de l'activité d'innovation dans quelques zones à forte densité de population. Parmi ces zones urbaines, qui constituent des écosystèmes d'innovation dynamiques, il convient notamment de mentionner la Silicon Valley près de San Francisco (États-Unis d'Amérique) ou Shenzhen-Hong Kong (Chine), un pôle d'innovation plus récent.

Ce paradoxe est plus apparent que réel, cependant; les agglomérations urbaines les plus innovantes au monde sont aussi celles qui sont le plus ouvertes sur l'extérieur. Parfois, elles sont davantage connectées au monde extérieur qu'à leur arrière-pays national. Ensemble, elles forment ce qui est communément dénommé "réseaux mondiaux d'innovation" par les économistes. Au cœur de ces réseaux, se trouvent des personnes qualifiées et des entreprises innovantes. Les travailleurs hautement qualifiés sont attirés par les zones urbaines innovantes parce qu'ils veulent interagir les uns avec les autres tout en profitant des commodités de la vie métropolitaine. Les grandes villes offrent aux entreprises un vaste marché local, des fournisseurs spécialisés et des établissements universitaires qui leur permettent de réaliser des économies d'échelle et de gamme. Les connaissances, à leur tour, circulent plus facilement entre les chercheurs des entreprises et les chercheurs universitaires lorsqu'ils travaillent en étroite collaboration, ce qui alimente le moteur de l'innovation.

Le présent rapport de l'OMPI analyse cette double tendance en exploitant un vaste ensemble de données extraites de millions de demandes de brevet et de publications scientifiques. Ses conclusions plaident en faveur d'une plus grande ouverture et d'un soutien accru à la collaboration si l'on veut que l'innovation continue de prospérer.

Une création de connaissances s'élargissant à un nombre croissant de pays

Pendant la majeure partie de la période comprise entre 1970 et 2000, trois pays – les États-Unis d'Amérique, le Japon et l'Allemagne – assuraient à eux seuls les deux tiers de l'activité mondiale en matière de brevets. En comptant les autres pays d'Europe occidentale, cette part atteignait environ 90%. Toutefois, au cours des années qui ont suivi, le reste du monde a, presque du jour au lendemain, commencé à produire près d'un tiers de toute l'activité en matière de brevets. La publication de données scientifiques s'est élargie à un plus grand nombre de pays, la part du reste du monde

étant passée de moins d'un quart à environ la moitié de ces publications au cours des 20 dernières années.

La Chine et la République de Corée sont en grande partie à l'origine de l'augmentation de la part des nouveaux domaines en matière de production de connaissances et d'innovation : ensemble, elles sont à l'origine de plus de 20% des demandes de brevet déposées entre 2015 et 2017, contre moins de 3% entre 1990 et 1999. D'autres pays, notamment l'Australie, le Canada, l'Inde et Israël, ont également contribué à la diffusion mondiale de l'innovation. Toutefois, de nombreux pays à revenu intermédiaire et tous les pays à faible revenu continuent d'enregistrer des niveaux d'activité en matière de brevets nettement inférieurs.

Le flux de plus en plus disséminé et interconnecté de connaissances et d'innovation est allé de pair avec le développement de réseaux mondiaux complexes, ou de chaînes de valeur, pour la production et la fourniture de biens et de services. En particulier, les multinationales ont établi des étapes de production à forte intensité de connaissances – notamment la recherche-développement – dans des agglomérations urbaines offrant des connaissances et des compétences spécialisées. Plus généralement, c'est la nécessité d'une plus grande collaboration face à la complexité technologique croissante qui a conduit à la fois à la concentration croissante de l'innovation dans certaines zones urbaines et à sa diffusion mondiale.

Une innovation de plus en plus locale

Sur la base des données géocodées des inventeurs et des auteurs scientifiques, le présent rapport explore la répartition géographique de l'innovation dans divers pays et recense les principales agglomérations regroupant des activités scientifiques et technologiques dans le monde. Il s'intéresse à deux types de pôles : les pôles d'innovation généraux, qui présentent la plus forte densité de publications scientifiques ou d'activités en matière de brevets; et les groupes de niche spécialisés, où la densité d'inventeurs et d'auteurs scientifiques est élevée dans un domaine donné mais pas assez

de manière générale pour qu'ils deviennent des pôles d'innovation mondiaux.

La répartition géographique de l'innovation est concentrée dans un nombre limité de zones

Le nouveau paysage des pôles d'innovation généraux et des groupes de niche montre que l'activité inventive et scientifique dans chaque pays se concentre de manière permanente dans quelques grandes zones urbaines cosmopolites et prospères. Aux États-Unis d'Amérique, les pôles d'innovation autour de New York, San Francisco et Boston ont compté pour environ un quart des demandes de brevet déposées entre 2011 et 2015. En Chine, les pôles situés autour de Beijing, Shanghai et Shenzhen ont augmenté leur part de 36 à 52% des brevets chinois au cours de la même période.

Moins de 19% des inventions et de la production scientifique mondiale est généré par des inventeurs ou des chercheurs situés en dehors des pôles d'innovation et des groupes de niche. Malgré ces bouleversements enregistrés dans le domaine de l'innovation au niveau mondial, plus de 160 pays – la grande majorité – génèrent encore peu d'activités dans ce domaine et n'accueillent pas de pôles d'innovation ou de groupes de niche.

Les grandes villes ne sont pas nécessairement des pôles d'innovation

Toutes les grandes régions métropolitaines ne présentent pas une forte densité d'activités d'innovation. Par exemple, la plupart des pôles d'innovation en Amérique du Nord se situent dans les zones urbaines à forte densité de population situées le long des côtes est et ouest, tandis qu'un grand nombre de zones urbaines intérieures tout aussi densément peuplées ne présentent pas une densité équivalente en matière d'innovation. L'Asie, l'Amérique latine et l'Afrique abritent de nombreuses zones à forte densité urbaines ne présentant pas une densité correspondante en matière d'innovation. En dépit d'une population élevée, de grandes métropoles telles que Bangkok, Kuala Lumpur, Le Caire, Le Cap et Santiago du Chili ne présentent qu'une densité d'innovation modeste dans certains domaines spécialisés.

À l'inverse, des zones urbaines moins denses peuvent parfois abriter des groupes de niche. Par exemple, Ithaca (États-Unis d'Amérique), Stavanger (Norvège)

et Berne (Suisse), sont des villes très innovantes en raison de la forte empreinte en matière d'innovation des établissements universitaires ou des industries locales ou, parfois, de la présence d'une entreprise jouant un rôle déterminant.

La collaboration devient de plus en plus la norme

Selon les données disponibles, la majeure partie des articles scientifiques et des brevets sont issus de travaux menés en équipe. Au début des années 2000, des équipes étaient à l'origine de 64% de l'ensemble des articles scientifiques et de 54% des brevets. Au cours de la seconde moitié des années 2010, ces chiffres ont atteint près de 80% et 70%, respectivement.

La plupart des pays à revenu élevé affichent également une collaboration croissante au niveau international. Les raisons qui poussent les universités et les entreprises à franchir les frontières à la recherche de partenaires pour l'innovation sont multiples. La communauté scientifique a une longue tradition de collaboration internationale alors que les multinationales recherchent des gains d'efficacité grâce à la division internationale de leur recherche-développement et à la collaboration internationale.

Les principales exceptions à la tendance à l'internationalisation sont les principaux pays d'Asie de l'Est, où le Japon, la République de Corée et, plus récemment, la Chine, ont vu leur part de la collaboration internationale diminuer, mais pas en chiffres absolus.

Un petit nombre de pays concentre l'essentiel des interactions internationales

La plus grande partie de la collaboration internationale se concentre entre un petit nombre de pays. Entre 2011 et 2015, les États-Unis d'Amérique et l'Europe de l'Ouest ont représenté 68% et 62%, respectivement, de toutes les collaborations internationales en matière d'inventions et dans le domaine scientifique. La majeure partie des activités de collaboration se produit entre les inventeurs et les chercheurs de ces pays. Les nouveaux venus dans ces réseaux de collaboration, issus de pays comme la Chine, l'Inde, l'Australie et le Brésil, collaborent encore principalement avec les pays susmentionnés plutôt qu'entre eux.

Pôles d'innovation et pôles spécialisés, moteurs de la collaboration internationale et des réseaux mondiaux

La plupart des pôles d'innovation généraux ont accru leur collaboration internationale au cours des deux dernières décennies. Cette collaboration – qu'elle soit nationale ou internationale, qu'il s'agisse de brevets ou de publications – crée un réseau dense d'interactions constituant les réseaux mondiaux d'innovation. La forme de ces réseaux a évolué, davantage de nœuds et d'interactions ayant généralement été rajoutés au fil du temps.

Les inventeurs et les scientifiques des pôles d'innovation et des groupes de niche collaborent davantage à l'échelle internationale que ceux de l'extérieur, en particulier pour les articles scientifiques. Au cours des deux dernières décennies, la part des publications scientifiques impliquant une collaboration internationale entre scientifiques au sein des points d'innovation représentait plus du triple de celles issues d'une collaboration entre scientifiques de l'extérieur.

La collaboration se concentre

En dépit des nouveaux nœuds dans les réseaux et des liens établis, les pôles d'innovation situés aux États-Unis d'Amérique, en Europe et en Asie demeurent au cœur des réseaux mondiaux, tant en termes de production que de connectivité. Dans l'ensemble, les pôles les plus importants collaborent à l'échelle nationale et internationale, tandis que les groupes de niche et les petits pôles d'innovation collaborent surtout à l'échelle nationale. Par exemple, de nombreux pôles d'innovation en France et au Royaume-Uni se connectent avec le reste du monde principalement par l'intermédiaire de Paris et Londres, respectivement. En Chine, Shanghai, Beijing et Shenzhen sont les principaux points d'accès aux marchés.

Pour autant, tous les pôles d'innovation ne présentent pas le même niveau de connexion. Les pôles situés aux États-Unis d'Amérique figurent parmi les nœuds les plus connectés. Beijing, Londres, Paris, Séoul, Shanghai et Tokyo sont également très connectés, mais beaucoup moins. Il est intéressant de noter que le volume élevé d'activité inventive et scientifique des pôles d'innovation américains n'explique pas entièrement leur plus grande connectivité. Beaucoup d'autres pôles d'innovation, tels que Tokyo ou Séoul,

présentent une production scientifique ou inventive plus importante ou similaire, mais ne sont pas aussi fortement connectés.

L'intensité de la collaboration internationale varie considérablement d'un pays à l'autre. Par exemple, les pôles d'innovation en Inde et en Suisse sont fortement connectés au niveau international, tandis que ceux situés en République de Corée et au Japon sont faiblement connectés. Dans de nombreux pôles d'innovation, l'internationalisation va souvent de pair avec une augmentation de la part des interactions locales. Dans de nombreux pôles d'innovation chinois, le nombre de co-inventions a augmenté de manière remarquable, entraînant une diminution de la part de la collaboration nationale et internationale en dehors de ces pôles.

Des entreprises multinationales au cœur du Web

Les données sur les brevets mettent en lumière les réseaux de recherche-développement des entreprises au centre des réseaux d'innovation mondiaux. De plus en plus de multinationales du monde entier citent des inventeurs étrangers dans leurs demandes de brevet et ces inventeurs étrangers proviennent d'un nombre croissant de pays. Dans les années 1970 et 1980, seulement 9% des demandes de brevet déposées par des entreprises des États-Unis d'Amérique comptaient des inventeurs étrangers; en 2010, cette proportion était passée à 38%. Les entreprises d'Europe occidentale ont connu une hausse tout aussi forte, passant de 9 à 27% au cours de la même période.

Ce type de collaboration internationale en matière de brevets existe encore principalement entre des entreprises et des inventeurs de pays à revenu élevé. Dans les années 1970 et 1980, 86% de la collaboration internationale en matière de brevets se faisait entre des multinationales et des inventeurs des États-Unis d'Amérique, du Japon et des pays d'Europe occidentale. Toutefois, cette part est tombée à 56% dans les années 2010.

Les pays à revenu intermédiaire, nouveaux acteurs dans les réseaux d'entreprises multinationales

Deux grandes évolutions expliquent cette baisse. D'une part, les multinationales de ces pays ont de plus en plus

externalisé les activités de recherche-développement vers des pays à revenu intermédiaire, en particulier la Chine, l'Inde et, dans une moindre mesure, des pays d'Europe orientale. Par exemple, dans les années 2010, plus d'un quart de tous les brevets internationaux obtenus par les multinationales américaines avaient un inventeur chinois ou indien. D'autre part, les multinationales des pays à revenu intermédiaire participent aussi activement aux réseaux mondiaux d'innovation. Les entreprises d'Asie, d'Europe de l'Est, d'Amérique latine et d'Afrique misent considérablement sur l'ingéniosité des inventeurs des États-Unis d'Amérique, d'Europe occidentale et de la Chine.

Les pôles d'innovation se déplacent et peuvent se disperser avec le temps

Les multinationales peuvent avoir des besoins et des stratégies très différents en matière de recherche de talents, besoins et stratégies qui peuvent changer avec le temps. Par exemple, Google et Siemens ont concentré leurs activités inventives dans leurs principaux pôles d'innovation. Dans les années 2010, San Jose-San Francisco comptait pour 53% des brevets de Google, contre 36% dans les années 2000. De même, Nuremberg – la plus importante source de brevets pour l'entreprise allemande Siemens – représentait 32% des brevets de cette dernière au cours des années 2010 contre 27% au cours des années 2000.

La concentration est encore plus forte dans les entreprises asiatiques, bien qu'elle ait légèrement diminué avec le temps. Tokyo et Shenzhen-Hong Kong ont été les plus importantes sources d'innovation pour Sony et Huawei dans les années 2010, représentant respectivement 71% et 81% des brevets. Il s'agit toutefois d'une baisse par rapport aux 83% et 88%, respectivement, de la décennie précédente, ce qui suggère une relative dispersion de l'innovation.

L'innovation transforme l'industrie automobile

Le rapport examine plus en détail l'évolution de la répartition géographique de l'innovation en étudiant deux industries en profonde mutation. La première est le secteur de l'automobile, qui se trouve dans les premières phases d'un bouleversement technologique. Les nouveaux venus, issus de l'industrie automobile

et de l'industrie des technologies de l'information, bousculent les acteurs établis.

Les véhicules entièrement autonomes n'ont pas encore atteint le marché. Néanmoins, l'analyse des données de l'intelligence artificielle et l'interconnectivité des appareils et des composants sont en train de réorienter le modèle économique de l'industrie vers les services et ce qu'il convient de dénommer l'"économie de plateforme". Les constructeurs automobiles traditionnels craignent d'être délogés de leurs principales activités de fabrication et de commercialisation de voitures.

Les données sur les brevets semblent indiquer que les constructeurs automobiles traditionnels et leurs fournisseurs sont à la pointe de l'innovation en matière de véhicules autonomes. Ford, Toyota et Bosch – qui représentent respectivement 357, 320 et 277 familles de brevets portant sur les véhicules autonomes – sont les trois principaux déposants de demandes de brevet relatives à des véhicules autonomes. Toutefois, des entreprises qui ne sont pas des constructeurs automobiles figurent également sur la liste des principaux déposants de demandes de brevet. Google, et sa filiale pour les véhicules autonomes, Waymo, sont en huitième position avec 156 brevets, devant des constructeurs automobiles traditionnels tels que Nissan, BMW et Hyundai. Uber et Delphi ont chacune 62 brevets relatifs à des véhicules autonomes et se classent au trente et unième rang.

Constructeurs traditionnels et nouveaux venus collaborent entre eux

Ni les acteurs établis ni les nouveaux venus ne possèdent actuellement toutes les compétences requises pour produire des véhicules autonomes. Ils doivent soit unir leurs forces, soit développer en interne les compétences qui leur manquent. L'innovation dans le domaine des véhicules autonomes est une entreprise coûteuse et de longue haleine. Les parties prenantes sont fortement incitées à collaborer et à partager les risques et les coûts avec différents types de partenaires. Trois types de collaboration se mettent en place : entre les constructeurs automobiles traditionnels, entre les entreprises technologiques et entre les constructeurs automobiles et les entreprises technologiques. Le réseau de collaboration qui se dessine est un amalgame de tout ce qui précède : aucun ne s'exclut mutuellement, et ils coexistent.

Les constructeurs automobiles et les entreprises technologiques continuent de privilégier leurs pôles d'innovation traditionnels

Tant les principaux constructeurs automobiles que les grandes entreprises technologiques semblent toujours privilégier les sites locaux pour leurs activités d'innovation. Une certaine évolution à la marge a été observée et il est donc peut-être un peu tôt pour donner une réponse définitive à la question de savoir si la technologie des véhicules autonomes va changer la répartition géographique de l'innovation dans l'industrie automobile.

L'innovation semée dans les laboratoires de biotechnologie est récoltée dans les filières agricoles

La biotechnologie agricole est une industrie où l'innovation doit être adaptée aux conditions agroécologiques locales. Bien que la majeure partie des inventions en biotechnologie végétale provienne de pays à revenu élevé, tels que les États-Unis d'Amérique, les pays d'Europe occidentale et les pays d'Asie de l'Est, elles doivent encore s'adapter à des conditions climatiques et pédologiques différentes.

La plupart des cultures transgéniques utilisées dans les pays émergents à revenu intermédiaire à la fin des années 1990 étaient des germoplasmes issus des États-Unis d'Amérique et adaptés localement. En conséquence, des pôles d'innovation en biotechnologie végétale existent dans de nombreuses régions du monde. Toutefois, les données montrent que l'innovation en biotechnologie végétale dans de nombreux pays d'Afrique, d'Amérique latine et des Caraïbes et d'Asie est géographiquement concentrée.

Le paysage de l'innovation dans la biotechnologie végétale

Une poignée de pays représente la majeure partie des inventions et de la production scientifique en biotechnologie. L'Allemagne, la Chine, les États-Unis d'Amérique, le Japon, la République de Corée représentent plus de 55% des articles de biotechnologie végétale et plus de 80% des brevets. Seuls l'Argentine, l'Australie, l'Inde, Israël, le Mexique et Singapour figurent également sur

la liste des pays disposant de pôles de biotechnologie végétale et, à l'exception de l'Australie, ils n'en comptent tous qu'un seul.

Il existe un fossé géographique entre l'endroit où l'innovation en biotechnologie végétale se produit et l'endroit où les plantes transgéniques sont cultivées. Dans la plupart des cas, les pôles d'innovation en biotechnologie végétale sont situés dans de grandes zones métropolitaines, soit dans des pôles d'innovation généraux, soit dans des groupes de niche spécialisés avec de fortes compétences biotechnologiques. Cela vaut également pour les pays en développement, où les pôles nationaux d'innovation en biotechnologie végétale sont généralement situés dans de grandes zones urbaines, comme São Paulo (Brésil) ou Le Cap.

Certains pôles se situent à proximité de zones rurales, par exemple Viçosa (Brésil) ou Irapuato (Mexique). Où qu'ils se situent, leur présence est associée à des institutions publiques de premier plan, telles que des universités, des centres internationaux de recherche agricole ou des systèmes nationaux de recherche agricole.

Renforcer la collaboration public-privé

Des entreprises privées, en particulier les quatre grandes entreprises agro-industrielles – Bayer et BASF (Allemagne), ChemChina et Corteva Agriscience (États-Unis d'Amérique) – réalisent une grande partie des investissements en recherche-développement dans la biotechnologie végétale. La nécessité d'avoir accès à des technologies exclusives a stimulé la collaboration au sein de l'industrie au moyen de l'octroi de licences croisées, de la concession de licences, de coentreprises dans le domaine de la recherche, voire de fusions et acquisitions.

Néanmoins, il existe un besoin croissant de collaboration avec le secteur public pour accéder, par exemple, à des pools de germoplasmes et de cultivars – variétés végétales dotées de caractéristiques souhaitables – souvent détenus par des organismes de recherche publics. Pour les organismes publics, le coût élevé de la commercialisation des produits issus de la biotechnologie végétale requiert presque toujours une collaboration avec de grandes multinationales. Depuis les années 2000, les demandes de brevet déposées conjointement par des entreprises privées et des organismes publics sont devenues le principal

type de collaboration, devant les demandes de brevet déposées conjointement par des entreprises privées. En fait, depuis les années 2010, les demandes de brevet déposées conjointement par des entreprises privées sont passées au troisième rang, derrière les demandes de brevet déposées conjointement par des organismes publics.

L'ouverture dans la quête de l'innovation est source d'avantages mutuels

Quelle importance la répartition géographique mondiale de l'innovation, telle qu'elle est décrite dans le présent rapport, revêt-elle dans le cadre de l'élaboration des politiques? La croissance des réseaux mondiaux d'innovation s'est appuyée sur des politiques favorisant l'ouverture et la coopération internationale, mais cela ne doit pas être tenu pour acquis, d'autant plus que le grand public est devenu plus sceptique quant aux avantages de la mondialisation.

La théorie économique offre de bonnes raisons de croire aux avantages du libre échange de connaissances: elle favorise la spécialisation de différents pôles d'innovation à travers le monde, conduisant à une production de connaissances plus efficace et plus diversifiée. La nature du savoir en tant que bien public renforce les avantages de l'ouverture: si les flux de connaissances génèrent des retombées économiques à l'étranger sans diminuer les avantages pour le pays, il y aura forcément des avantages mutuels à tirer de l'ouverture.

Théoriquement, des restrictions stratégiques au commerce et aux flux des connaissances pourraient, dans certains cas, être avantageuses pour la croissance des pays. Toutefois, l'expérience des pays à revenu élevé au cours des dernières décennies donne à penser que le flux des connaissances sur les nouvelles technologies a eu un impact globalement positif.

La baisse de la productivité de la recherche-développement plaide en faveur de l'ouverture

Il devient extrêmement difficile de repousser constamment la frontière technologique. Tout porte à croire que, pour atteindre le même niveau de progrès technologique que par le passé, il est nécessaire de déployer

de plus en plus d'efforts en matière de recherche-développement.

La baisse de la productivité de la recherche-développement rend nécessaires des investissements sans cesse croissants dans l'innovation. Elle plaide également en faveur de la collaboration et de l'ouverture. Trouver des solutions à des problèmes technologiques de plus en plus complexes requiert des équipes de chercheurs de plus en plus nombreuses et une plus grande spécialisation dans la recherche, ce que l'ouverture et la collaboration internationale peuvent favoriser.

Pour que l'ouverture produise des effets, il est nécessaire de favoriser la coopération internationale...

La coopération internationale en matière d'innovation revêt de nombreuses dimensions. Elle est nécessaire pour promouvoir des investissements dans l'innovation qui prennent en considération les exigences et la taille de l'économie mondiale. Elle peut également faciliter considérablement la tâche des innovateurs souhaitant faire des affaires à l'échelle internationale. Enfin, les gouvernements peuvent mettre en commun leurs ressources et financer des projets scientifiques à grande échelle dépassant les budgets nationaux ou nécessitant des connaissances techniques disponibles dans différents pays.

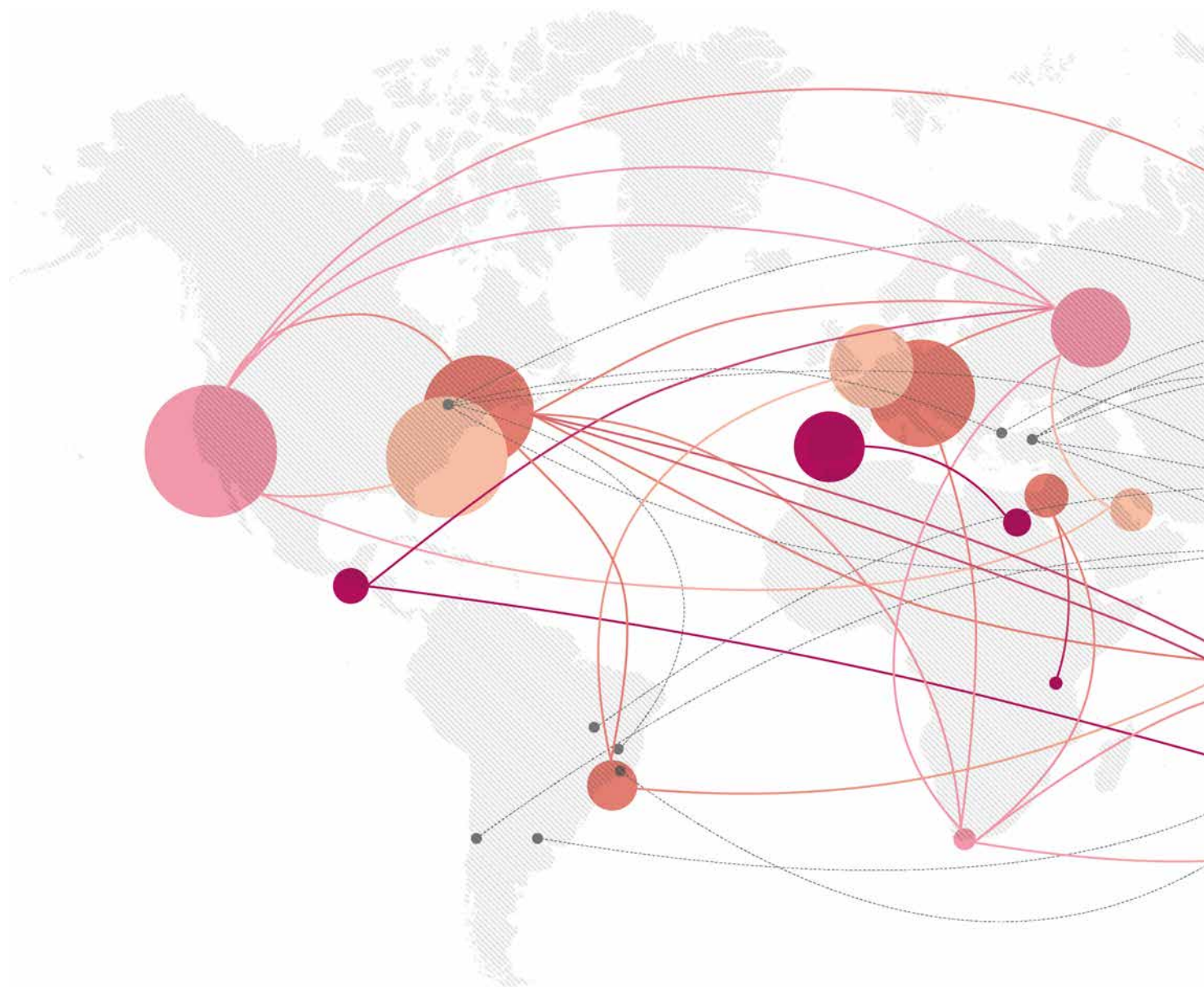
... et l'élaboration de politiques visant à remédier aux divergences régionales croissantes

Una tendencia preocupante de los últimos decenios La polarisation interrégionale croissante des revenus, de l'activité d'innovation, de l'emploi hautement qualifié et des salaires observée dans les pays au cours des dernières décennies constitue une tendance inquiétante. L'ouverture renforce l'effet d'attraction des régions de premier plan. Comme le montre le présent rapport, les pôles d'innovation les plus dynamiques, qui sont intégrés aux réseaux mondiaux d'innovation, ont tendance à se situer dans les agglomérations métropolitaines, déjà les plus riches des différents pays.

Les politiques de soutien et de développement régional peuvent jouer un rôle important pour aider les régions ayant pris du retard. Sans inverser l'effet d'attraction

des régions les plus prospères, elles peuvent néanmoins promouvoir une croissance axée sur l'innovation qui profite à l'économie dans son ensemble.

L'innovation se concentre de plus en plus dans des "pôles" urbains. Parallèlement, ces pôles d'innovation se connectent et collaborent à travers le monde.



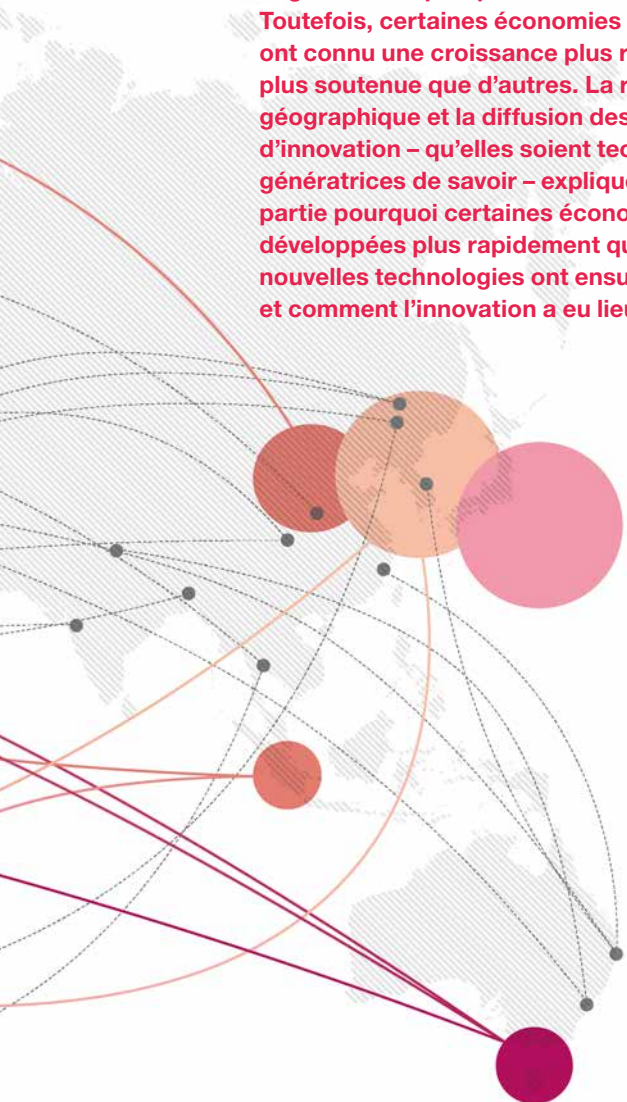
L'évolution de la répartition géographique de l'innovation dans le monde

L'innovation technologique est le moteur de la croissance économique et favorise l'amélioration du niveau de vie. Comme le décrit le Rapport sur la propriété intellectuelle dans le monde 2015 de l'OMPI, la croissance enregistrée au cours des 200 dernières années a été sans précédent dans l'histoire. Une série de percées technologiques a sensiblement amélioré la qualité de vie et engendré une prospérité matérielle généralisée. Toutefois, certaines économies nationales ont connu une croissance plus rapide et plus soutenue que d'autres. La répartition géographique et la diffusion des activités d'innovation – qu'elles soient technologiques ou génératrices de savoir – expliquent en grande partie pourquoi certaines économies se sont développées plus rapidement que d'autres. Les nouvelles technologies ont ensuite déterminé où et comment l'innovation a eu lieu¹.

La première révolution industrielle – stimulée à la fin du XVIII^e siècle par de nouveaux procédés de fabrication utilisant la vapeur – a concentré la production industrielle mondiale en Europe occidentale, en particulier au Royaume-Uni². Elle a changé le visage de l'économie mondiale, instaurant une hiérarchie différente du développement mondial. Autre effet non moins important, elle a également créé des divergences régionales persistantes en Europe, certaines régions et villes – comme Manchester et Londres au Royaume-Uni, la Normandie, Paris et Lyon en France, la région de la Ruhr en Allemagne, Liège en Belgique ou la région franco-allemande incluant la Lorraine, la Sarre et le Luxembourg – constituant le “noyau européen”³.

La deuxième révolution industrielle – entraînée par un large éventail d'inventions électromécaniques dans la seconde moitié du XIX^e siècle – a vu l'entrée de l'Amérique du Nord dans le club mondial des pays à revenu élevé, tout en contribuant à élargir les régions industrialisées du continent européen. Il n'y a pas eu de correspondance parfaite entre les pays, les villes et les régions au cœur des deux révolutions. Certaines régions auparavant centrales ont connu un déclin, d'autres ont au contraire prospéré. En Europe, les vagues d'industrialisation se sont développées de manière concentrique, englobant notamment le sud-ouest de la France, le nord-est de l'Espagne, le corridor Milan-Venise dans le nord de l'Italie, Berlin, Vienne, Cracovie et Prague, ainsi que le nord, en direction d'Oslo et de Göteborg en Suède. Aux États-Unis d'Amérique, les villes de la côte Est – Boston, New York et Baltimore – ont conservé leur importance sur le plan industriel, mais l'industrialisation s'est étendue à plusieurs villes du Midwest, telles que Chicago, Détroit, Minneapolis et Cleveland.

Depuis les années 1970 et 1980, une troisième révolution industrielle s'est produite, largement articulée autour des technologies numériques, des sciences de la vie et de la biotechnologie, de l'ingénierie financière et de percées significatives dans les transports et le domaine logistique. Elle a coïncidé avec une augmentation importante des échanges commerciaux et des flux d'investissement à l'échelle mondiale. L'innovation



et le développement économique se sont étendus à l'Asie du Nord-Est, passant du Japon à la République de Corée, puis à la Chine. Tokyo, Séoul, Shenzhen et Beijing sont devenues des mégalo-pôles qui définissent aujourd'hui l'orientation du progrès technologique. Les économies "dominantes" à revenu élevé d'Europe et d'Amérique du Nord restent à la pointe de l'innovation, mais une nouvelle répartition géographique s'est également établie entre elles.

Quelles forces peuvent-elles expliquer pourquoi l'innovation s'est concentrée dans certaines zones géographiques plutôt que de se propager de manière uniforme? Au-delà des grandes tendances décrites ci-dessus, comment la répartition géographique mondiale de l'innovation évolue-t-elle exactement? Comment les entreprises à l'ère de la mondialisation organisent-elles leurs activités d'innovation à travers le monde?

Le présent rapport s'efforce de répondre à ces questions en trois parties. Il examine tout d'abord, dans ce premier chapitre liminaire, la pensée économique et les données empiriques expliquant la répartition géographique de l'activité d'innovation. Dans un deuxième temps, il s'appuie sur des données de brevets et des publications scientifiques géocodées d'inventeurs et d'auteurs scientifiques du monde entier pour montrer comment cette répartition géographique de l'innovation a évolué au cours des dernières décennies. L'examen des tendances émergentes – présenté au chapitre 2 – décrira cette répartition en termes de réseaux mondiaux d'innovation, de pôles d'innovation géographiquement concentrés et de pôles d'innovation de niche reliés les uns aux autres, qui jouent de plus en plus un rôle moteur. Le rapport illustrera également le fonctionnement de ces réseaux mondiaux d'innovation à travers deux études de cas – l'une sur les véhicules autonomes et l'autre sur les biotechnologies agricoles, qui feront l'objet, respectivement, des chapitres 3 et 4. Enfin, au chapitre 5, le rapport conclut en tirant des perspectives de politique générale de ses principales conclusions. Sont notamment soulignés les avantages que présentent les systèmes nationaux d'innovation qui restent ouverts à l'échange international de connaissances.

Ce premier chapitre examine les principales forces économiques à l'origine de la concentration géographique et du caractère diffus de la création et de la répartition du savoir. La section suivante passe en revue les principales théories économiques et les éléments

de preuve existants qui sous-tendent la concentration géographique des activités d'innovation. Elle montre que les processus de création de savoir et la diffusion, l'investissement et l'appropriation renforcent l'innovation et les hiérarchies économiques mondiales et qu'ils concentrent l'innovation dans des pôles, pour la plupart situés dans des métropoles. La section 1.2 examine comment ces processus conduisent parallèlement à une dispersion accrue des pôles sur la planète. Elle étudie les principales forces – agissant majoritairement au travers de réseaux mondiaux d'entreprises, de chercheurs et d'entrepreneurs – qui mettent en relation les principaux centres de création et d'innovation du monde entier. La dernière section explore quelques-unes des conséquences découlant du réseau mondial actuel de pôles d'innovation très concentrés.

1.1 Concentration de l'innovation dans des pôles métropolitains

Pour cartographier la répartition géographique de l'innovation mondiale, il faut comprendre les forces qui sont à l'origine de la concentration de l'innovation et celles qui sous-tendent sa diffusion. Une caractéristique importante de la géographie du développement économique est commune aux économies établies à revenu élevé et aux économies émergentes prospères à revenu intermédiaire : les revenus élevés se concentrent de plus en plus dans les métropoles, reflet de l'accroissement des divergences interrégionales au sein des pays. Ces zones métropolitaines sont également des pôles de formation d'écosystèmes de l'innovation. Aux États-Unis d'Amérique, deux exemples majeurs sont la partie méridionale de la baie de San Francisco en Californie du Nord et l'agglomération élargie de Boston dans le Massachusetts, respectivement connues également sous les noms de Silicon Valley et Route 128.

Quelles forces économiques expliquent l'agglomération de l'innovation?

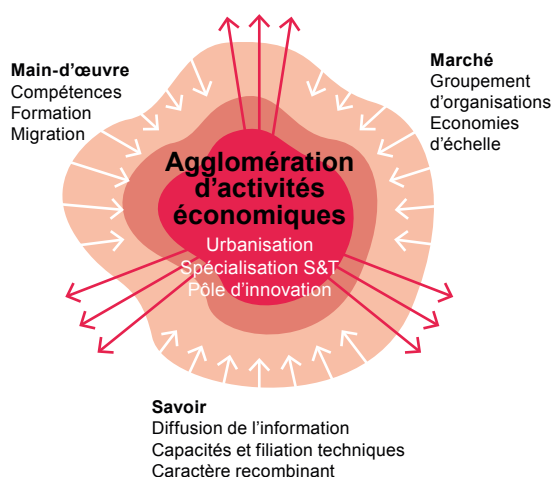
L'une des questions les plus difficiles à laquelle doivent répondre les études portant sur la répartition géographique, l'économie et le développement est de savoir pourquoi ces pôles ou agglomérations de l'innovation apparaissent et s'épanouissent à un endroit plutôt qu'à un autre. Cette question recouvre aussi bien les facteurs généraux qui président au regroupement de l'innovation que la répartition géographique précise de ces agglomérations⁴.

Diverses théories économiques se penchent sur cette question. Elles examinent le plus souvent les forces économiques liées aux bassins de main-d'œuvre qualifiée, à l'échelle du marché et à la diffusion du savoir – là où se concentrent des entreprises très innovantes, le savoir peut filtrer, ou se propager de l'une à l'autre. Des accidents historiques ou une politique délibérée peuvent influencer ces facteurs, mais aucun n'a permis de répondre entièrement à la question. D'autres forces poussent simultanément dans la direction opposée, vers une dispersion géographique, mais tout indique qu'elles ne sont pas aussi puissantes.

La figure 1.1 présente une synthèse graphique des principales forces à l'origine de la concentration, examinées ci-après.

Phénomène de regroupement des personnes, des entreprises et des idées

Figure 1.1 Principales forces économiques à l'origine de la concentration géographique de l'innovation



Note: S&T = Science et technologie.

L'offre de compétences contribue-t-elle à stimuler l'agglomération de l'innovation?

Le courant dominant de la théorie économique expose un certain nombre de moyens par lesquels la concentration géographique de l'innovation peut résulter indirectement de l'offre de main-d'œuvre, à la fois en termes de quantité et de qualité⁵.

Ces théories supposent que les travailleurs dotés de compétences différentes gravitent vers différentes régions. En termes simples, les travailleurs hautement qualifiés se regroupent parce qu'ils veulent interagir les uns avec les autres, de sorte que la formation et les compétences de la main-d'œuvre dans une région donnée peuvent agir comme une force d'attraction. Dans le même temps, la migration peut modifier la base de compétences de la main-d'œuvre de la région d'accueil, renforçant ainsi l'effet d'agglomération.

Les préférences des travailleurs hautement qualifiés pour des agglomérations dynamiques et un métier dans l'innovation font partie du tableau. Les professions liées à l'innovation offrent des perspectives de carrière et une formation continue, garantissant de futures possibilités d'emploi à une époque où l'automatisation semble de plus en plus menacer de nombreux emplois traditionnels non manuels (cols blancs). En outre, les rémunérations offertes dans ce secteur sont élevées et compensent la hausse du coût de la vie et du logement. Les pressions exercées par les coûts poussent aussi les travailleurs non qualifiés moins bien rémunérés vers la périphérie urbaine.

Les données empiriques montrent que, dans les régions où la concentration de travailleurs ayant fait des études universitaires était supérieure à la moyenne dans le passé, on constate une augmentation ultérieure du nombre de travailleurs ayant suivi un enseignement universitaire, du revenu par habitant, du nombre de brevets et d'autres indicateurs directs et indirects de l'innovation. Les caractéristiques de l'offre de main-d'œuvre locale semblent influencer la trajectoire de développement des agglomérations génératrices d'innovation, ainsi que la capacité d'innovation régionale, tant aux États-Unis d'Amérique que dans l'Union européenne (UE)⁶.

Cela étant, qu'est-ce qui explique la présence d'une main-d'œuvre aux qualifications particulières dans une région donnée? À certaines époques, la répartition géographique des travailleurs qualifiés a changé, au profit de la dispersion. Pourquoi le comportement de la main-d'œuvre qualifiée a-t-il spontanément évolué vers la concentration géographique? Ce fut le cas durant la phase de maturation de la deuxième révolution industrielle, où l'on a assisté, entre 1940 et 1980, à une migration massive de travailleurs qualifiés – et de travailleurs non qualifiés – du monde entier vers les principaux pays développés⁷.

Les accidents historiques mettant en scène des personnalités exceptionnelles peuvent expliquer en partie l'implantation de pôles d'innovation, notamment dans les régions pionnières dans les technologies phares de chaque révolution industrielle. Ainsi, certains prétendent que la Silicon Valley se trouve là où elle est parce que William Shockley – l'inventeur du semi-conducteur à base de silicium – a décidé de quitter le New Jersey pour se rapprocher de sa mère âgée. Une autre anecdote concernant Shockley est qu'après avoir recruté des associés de premier plan dans son entreprise, son style de gestion despotique les a poussés à démissionner en bloc pour former leur propre entreprise. Cet épisode a été un premier exemple inattendu du phénomène de sociétés dérivées qui est devenu si typique du processus de développement de la Silicon Valley. Les annales de l'innovation regorgent d'histoires de ce genre.

Toutefois, le caractère aléatoire de ces péripéties reposant sur la "présence de grands inventeurs" soulève quelques doutes. Il y a tellement de personnalités célèbres associées à la Silicon Valley – de Shockley et Frederick Terman, l'un des "pères" reconnus de la Silicon Valley, au patron d'Apple, Steve Jobs, et aux cofondateurs de Google, Sergey Brin et Larry Page – qu'il semble peu probable que leur présence à tous soit le fruit du hasard. De plus, Saxenian (1994) a brillamment fait valoir que la simple présence des précurseurs de l'innovation ne suffisait pas. Nombre de génies précoces des technologies de l'information vivaient à Boston, mais n'y sont pas restés. Mark Zuckerberg (Facebook) est parti pour la Silicon Valley parce que Boston n'était pas l'endroit approprié pour transformer une invention révolutionnaire en une innovation à part entière, comme cela s'était déjà produit dans le New Jersey des décennies auparavant, lorsque William Shockley était parti pour s'installer dans la baie de San Francisco.

Ajoutons à cela que la "qualification" n'est pas une notion uniforme et que différentes technologies peuvent nécessiter de combiner différentes compétences qui ne se chevauchent pas toujours. Un financier ne sera pas attiré par les mêmes endroits qu'un informaticien, et les différents endroits et emplois ne sont pas interchangeables. Il n'en reste pas moins que différentes professions et compétences peuvent être complémentaires pour produire une innovation donnée.

Sur le plan de la demande, comment les forces du marché donnent-elles naissance à des pôles d'innovation?

Les forces économiques du marché s'allient à celles de l'offre de main-d'œuvre pour favoriser la concentration géographique des activités d'innovation. Les principales forces économiques du marché sont générées par le "regroupement" d'organisations – notamment d'entreprises privées – au sein d'un marché et les économies de transport, d'échelle et de gamme qui en résultent.

Ce regroupement est au cœur des différences de productivité entre les régions. Comme avec l'intervention de "personnalités hors du commun", les accidents historiques au cours desquels une entreprise phare bien ancrée au sein d'une économie locale fait progresser l'innovation peuvent être tout aussi importants pour faire naître un écosystème d'innovation, qui se développe ensuite de manière organique à mesure que la main-d'œuvre qualifiée et les activités connexes migrent. Dans ces moments-là, les entreprises phares peuvent avoir une influence propre sur l'agglomération. Mais ce n'est pas toujours le cas. Ainsi, Motorola a implanté la première plus grande usine de semi-conducteurs du monde à Phoenix (Arizona) dans les années 1950, mais la ville américaine n'est pas devenue pour autant par la suite un centre de l'industrie informatique⁸. Motorola pensait pouvoir être un précurseur géographiquement isolé dans un secteur technologiquement innovant. Il s'est avéré que seuls les pionniers qui ne se sont pas coupés des réseaux open-source de la Silicon Valley émergente – comme la société de semi-conducteurs Fairchild et la société informatique Hewlett-Packard – ont été capables de suivre l'envolée de la courbe technologique.

Les régions à forte concentration industrielle présentent des marchés du travail locaux plus complets. Les entreprises y trouvent plus facilement des compétences spécialisées, ce qui réduit les coûts liés à la reconversion ou au transfert de la main-d'œuvre. De même, une plus forte concentration d'entreprises est plus susceptible de générer de nouvelles pousses. La productivité de ces entreprises dérivées sera d'autant plus grande que le sera celle du groupe d'entreprises dont elles sont issues. C'est en grande partie le fait que les entreprises dérivées ont poursuivi les activités technologiques et les pratiques organisationnelles de leurs sociétés mères qui est à l'origine de l'agglomération et de la capacité d'innovation de l'industrie automobile de Détroit durant le premier quart du siècle dernier.

Les établissements académiques – comme les universités – jouent également un rôle important dans la concentration. La concentration des diplômés universitaires et des travailleurs actifs dans le domaine des sciences, de l'ingénierie et de la technologie reflète la concentration spatiale des activités d'innovation. Aux États-Unis d'Amérique, les travailleurs qualifiés, notamment dans le secteur tertiaire, quittent les villes de taille moyenne ou petite pour emménager dans les grandes villes. La recherche universitaire est également plus productive et créative – c'est-à-dire moins conventionnelle – dans les agglomérations plus grandes et plus diversifiées⁹.

Les nouvelles théories de la géographie économique ont élargi et affiné la question du rôle du regroupement d'organisations. Contrairement à la plupart des analyses spatiales traditionnelles, elles considèrent la concentration géographique comme un processus boule de neige dans le cadre duquel les régions attirent progressivement des fournisseurs et des compétences humaines. Pour l'essentiel, des différences régionales de productivité ou d'économies d'échelle peuvent à elles seules expliquer la différence de concentration géographique entre deux régions équivalentes, ou expliquer le renforcement de la concentration dans les régions centrales par rapport à la périphérie. Le mécanisme de base est que toute différence confirmée dans la productivité ou les niveaux d'innovation dans une région donnée a pour effet d'engendrer ou de conforter la position dominante de la région la plus innovante ou la plus productive¹⁰.

Selon ces théories, les forces d'agglomération du marché sont à l'œuvre lorsque les entreprises et les consommateurs peuvent tirer parti du regroupement en un seul et même lieu. Les agglomérations dotées de grands marchés locaux sont des sites privilégiés pour la production de biens de consommation en raison des possibles économies de transport, d'échelle et de gamme. Des économies de transport sont réalisées lorsque les entreprises locales peuvent desservir un grand marché local plus rapidement et à moindre coût que les entreprises éloignées. De même, les entreprises qui approvisionnent les grands marchés réalisent des économies d'échelle en répartissant les coûts d'investissement irrécupérables sur un plus grand nombre d'unités vendues et en optimisant les processus de production par des répétitions multiples. Les consommateurs des grands marchés ont à disposition une plus grande diversité de biens. Non seulement un marché plus vaste permet au consommateur de trouver

exactement le type de produits qu'il recherche, mais les entreprises peuvent aussi se spécialiser dans la fourniture de ces produits. Ces trois mécanismes – transport, échelle et gamme – ont également une incidence sur les entreprises produisant localement des biens intermédiaires, ce qui renforce les économies réalisées en aval de la chaîne d'approvisionnement locale¹¹.

La diffusion des savoirs et les conditions technologiques favorisent-elles la concentration?

Cela dit, l'échelle du marché et la présence d'une main-d'œuvre qualifiée ne mènent pas tout droit une région à maîtriser la prochaine vague d'innovation. Les avantages découlant de processus d'innovation antérieurs couronnés de succès ne garantissent pas l'obtention d'avantages technologiques futurs.

À l'instar des grands marchés et des marchés du travail complets, les "retombées" de l'information et du savoir sont également des facteurs externes positifs qui favorisent le regroupement en un même endroit d'entreprises innovantes, de centres universitaires et de ressources humaines talentueuses¹². Le savoir n'est pas confiné aux activités technologiques et aux pratiques organisationnelles d'une organisation ou d'une personne existante; il peut se propager de l'une à l'autre. Les entreprises exploitent mieux les économies d'échelle et de gamme en s'inspirant de l'expérience d'autres entreprises. Les travailleurs qualifiés diffusent des connaissances tacites lorsqu'ils interagissent avec d'autres travailleurs qualifiés, changent d'organisation ou migrent.

La plupart des données empiriques indiquent que la diffusion des connaissances est extrêmement concentrée sur le plan géographique. Cela s'explique principalement par les coûts élevés associés à la codification, à l'échange et à l'absorption des connaissances. Alors que l'information, comme les données, circule de plus en plus librement entre les organisations et les régions, la diffusion du savoir – ce qui est nécessaire, par exemple, pour interpréter les données – est plus enracinée. Les entreprises, les organisations universitaires et les particuliers doivent interagir et collaborer activement, voire se déplacer, pour faire circuler les connaissances. La concentration des retombées du savoir peut donc être à la fois une conséquence et un déclencheur de l'agglomération de l'innovation. Les entreprises innovantes iront s'installer là où la diffusion

du savoir est plus importante, renforçant ainsi la diffusion dans cette région et repoussant les entreprises non innovantes vers la périphérie¹³. Cette innovation conjointe et cette coévolution géographique peuvent engendrer un mode de développement régional, largement irréversible.

Si la présence antérieure de ressources technologiques régionales est susceptible de façonner la création ultérieure d'innovations, toutes les régions innovantes ne suivent pas la même trajectoire. Dans les années 1930, Princeton (New Jersey) – site de RCA Laboratories – et la Silicon Valley abritaient des technologies proches qui auraient pu devenir des précurseurs de l'industrie informatique, mais elles ont emprunté des voies très différentes en matière d'innovation. La Silicon Valley a bâti sa remarquable trajectoire dans le domaine de l'innovation technologique en prenant appui sur les industries préexistantes et complémentaires de fabrication de tubes pour le réseau électrique, de tubes à micro-ondes et de composants en silicium. Ces industries ont enrichi l'écosystème de l'innovation informatique de la Californie du Nord en la dotant de capacités technologiques connexes et de nouvelles approches de gestion facilement transposables au secteur informatique naissant. Princeton et les autres pôles de la côte Est avaient un écosystème technologique et informatique beaucoup plus restreint, reposant sur quelques grandes entreprises¹⁴.

En ce sens, les agglomérations plus diversifiées ont plus de chances de réussir la transition vers une nouvelle capacité technologique que les agglomérations très spécialisées¹⁵. La littérature regorge d'exemples d'économies très spécialisées qui se retrouvent enfermées dans leurs technologies et incapables d'opérer une transition après un coup dur sur le plan de la demande ou une évolution technologique. Il semblerait que l'innovation technologique soit plus susceptible de se produire dans les régions dotées d'un éventail plus large de compétences techniques, surtout si elles sont faciles à recombinaison. Les industries dominantes ont tendance à monopoliser le talent, l'offre de facteurs économiques de production, comme le capital ou l'esprit d'entreprise, et l'attention. Une telle concentration de ressources risque d'exclure d'autres activités et d'aiguiller l'évolution des économies régionales sur des voies différentes. Élevée au rang de "capitale de l'automobile", Détroit fait ainsi figure d'exemple de surspécialisation. Il existe pourtant des centres hautement spécialisés dans la construction mécanique et la technologie automobile qui ont su maîtriser les

vagues technologiques successives, comme Stuttgart en Allemagne. Cantonnée autrefois aux manufactures utilisant des moulins, Boston est aujourd'hui un centre de haute technologie. La capacité d'évolution régionale des économies est régie par les possibilités d'évoluer vers des technologies et des capacités technologiques connexes¹⁶.

Relevons cependant que l'analogie technologique et la complémentarité ne font pas tout. Nombreux sont les exemples de régions qui conquièrent de nouveaux secteurs importants sans grand rapport avec leurs activités antérieures d'un point de vue technologique. Los Angeles n'était pas un acteur majeur de la construction mécanique dans les années 1920 et 1930 lorsqu'elle est devenue le centre de construction aéronautique des États-Unis d'Amérique puis, dans les années 1940, le plus grand pôle aérospatial du monde. La Cité des Anges n'avait pas davantage d'expérience de l'industrie du divertissement à l'arrivée des studios de cinéma vers 1915. Quant à Détroit, qui était moins experte en matière d'équipements mécaniques que l'Illinois dans les années 1890, elle s'est rapidement imposée comme le berceau de l'industrie automobile américaine.

Ces exemples, et bien d'autres, se caractérisent par la présence de fenêtres d'opportunités technologiques. Ces ruptures dans la filiation technologique font largement oublier les avantages de l'agglomération préexistante et garantissent des conditions égales pendant une courte période après la naissance d'une technologie.

En résumé, l'interaction entre l'innovation et la répartition géographique reflète la juxtaposition des antécédents des individus, des organisations et des technologies. La comparaison novatrice établie par Saxenian (1994) entre la Route 128 contournant Boston et la Silicon Valley montre que les types d'entrepreneuriat, d'organisation de la production et de coordination des systèmes qu'ont connus les entreprises et les acteurs établis dans une région détermineront comment cette région évoluera sur le plan économique et quels types de nouvelles activités elle pourra produire et s'approprier.

Les politiques peuvent-elles influencer les forces d'agglomération de l'innovation?

On manque de preuves irréfutables à grande échelle du succès des politiques visant à créer de nouveaux regroupements locaux. Les dernières décennies ont

été marquées par l'échec de nombreuses initiatives politiques pour la création de "technopoles" ou l'avènement de la "nouvelle Silicon Valley". Les subventions publiques pourraient attirer des entreprises "indésirables", dotées d'une faible productivité et dont la survie dépend des subventions ou qui rechignent à créer des réseaux entre les acteurs locaux par crainte que leurs actifs de propriété intellectuelle soient divulgués. Étant donné la dépendance passée entre la croissance de l'industrie et la création de pôles, on peut se demander ce que la politique peut accomplir. Comme dans la nature, les entreprises forment des écosystèmes d'innovation qui ne sont pas facilement transposables ou reproductibles, car ils se développent dans des cadres institutionnels et des tissus sociaux propres au territoire¹⁷.

Les considérations ci-dessus ne signifient pas pour autant que toutes les politiques ont échoué à influencer la formation de pôles. En l'occurrence, une caractéristique commune à tout système national d'innovation est que les forces d'agglomération du marché ne sont pas le seul facteur qui façonne la répartition géographique de l'innovation. Le secteur public, le secteur de l'enseignement supérieur et les établissements universitaires sont également des acteurs clés qui déterminent la capacité d'innovation des régions et des pays. Cela se vérifie en particulier dans les économies en développement où l'investissement public est le principal moteur des dépenses de recherche-développement (R-D)¹⁸. Diverses circonstances motivent le soutien du secteur public à l'innovation. Dans certains pays et régions, la stagnation de la productivité a conduit à relancer la politique industrielle. Dans bon nombre des anciennes économies à revenu intermédiaire les plus florissantes, une politique industrielle à forte composante d'innovation a manifestement favorisé leur ascension économique.

Aux États-Unis d'Amérique, le Research Triangle Park, en Caroline du Nord, est un bel exemple de réussite des politiques. Sans pour autant rivaliser avec Boston ou la Silicon Valley, le Research Triangle Park fait figure de chef de file dans un large éventail de domaines de haute technologie et de modèle d'un des premiers et plus réussis parcs de recherche¹⁹. La politique publique peut également avoir une influence plus indirecte sur la répartition géographique de l'innovation via le système de R-D et, notamment, le rôle des universités et des laboratoires et organismes de recherche publics. Aux États-Unis d'Amérique, de 1875 à 1975, le système fédéral d'attribution de terres pour y bâtir des établissements universitaires a renforcé le déploiement

géographique des instituts universitaires de recherche, tandis que le financement fédéral des universités a favorisé leur prolifération. La Californie a sans doute le système le plus efficace, le système public de l'Université de Californie regroupant six des meilleures universités du monde. Cette observation est également valable en ce qui concerne la répartition géographique des laboratoires du secteur public, qu'il s'agisse des laboratoires nationaux aux États-Unis d'Amérique ou de ceux du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) en France.

De même, la plupart des anciens pays à revenu intermédiaire qui font désormais partie des régions à revenu élevé parmi les plus innovantes du monde – comme la République de Corée, Singapour ou Israël – sont parvenus à bâtir des universités de recherche de premier plan²⁰. En Chine, il est probable que l'apparition de pôles d'innovation de réputation mondiale soit liée aux investissements dans des universités de recherche très cotées dans le monde.

On trouve également des exemples d'intervention réussie des pouvoirs publics ayant abouti à la création de pôles dans les pays à revenu intermédiaire. Ainsi, en 2008, avec l'aide du gouvernement municipal de Chongqing (Chine), plusieurs petits pôles côtiers de fabrication d'ordinateurs portables ont été transplantés avec succès en ville. Les politiques ciblant les investissements dans l'infrastructure, l'organisation du marché du travail et d'autres mesures favorables aux entreprises ont encouragé les nouvelles initiatives commerciales et l'esprit d'entreprise. À noter cependant que la démarche a consisté à déplacer des pôles existants plus qu'à en créer de nouveaux. D'autres initiatives chinoises ont adopté des approches différentes, suivant les capacités et les pouvoirs de l'administration locale. L'investissement de l'Inde dans un programme spatial basé à Bangalore a fait éclore un pôle informatique dans la même région. Ensuite, grâce à l'appui politique sous forme d'investissements dans l'infrastructure et le capital humain, le nouveau pôle a connu une croissance organique. Tous ces pôles ont d'abord été des centres de fabrication, qui sont devenus plus ou moins innovants au fur et à mesure de la maturation de la phase de fabrication. Il convient toutefois de noter la contribution significative dans ce processus des entreprises multinationales, dont le rôle dans les réseaux mondiaux d'innovation sera examiné plus loin²¹.

Les investissements publics nécessaires à la mise en œuvre de ces stratégies sont toujours conséquents

et doivent être engagés à long terme et organisés de façon appropriée sur le plan institutionnel. On constate néanmoins un certain antagonisme entre l'équité interrégionale et l'excellence dans pratiquement tous les grands pays possédant aujourd'hui un système d'enseignement supérieur public. Comme il n'est pas réaliste d'avoir des universités de recherche aussi bien dotées dans chaque localité, toute politique d'innovation réussie finit par entraîner une certaine concentration interne.

De plus, dans l'environnement actuel d'agglomération de l'innovation, la position de certaines institutions du secteur public – en particulier les universités – est nettement renforcée par les forces du marché qui rendent certaines d'entre elles plus attractives pour les étudiants, les professeurs et les bailleurs de fonds. Cela réduit l'efficacité des politiques publiques en matière de diffusion de l'innovation dans les différentes régions et crée le risque que l'entrepreneuriat public suive la répartition géographique du secteur privé et profite largement aux régions dotées d'institutions solides et bénéficiant de conditions favorables. Malheureusement, les cadres d'innovation ou de politique industrielle ont rarement réussi à assurer à la fois la promotion de l'innovation à l'échelle nationale et sa répartition relativement égale sur tout le territoire.

D'autres politiques – ou leur absence – peuvent aussi influencer indirectement les forces à l'origine de l'agglomération de l'innovation. Les préférences des travailleurs hautement qualifiés, des entrepreneurs et des entreprises innovantes pour certaines agglomérations peuvent être le reflet de politiques délibérées de regroupement, mais elles ne sont pas non plus sans relation avec les politiques fiscales, de sécurité sociale et d'éducation, entre autres²². Par exemple, dans les régions innovantes prospères où les marchés immobiliers sont très peu réglementés, on observera probablement un renchérissement des prix des logements, lequel exclura les travailleurs peu qualifiés et les poussera vers des régions où les logements sont moins chers, comme on l'a vu plus haut.

Pourquoi les phénomènes de concentration et de diffusion géographiques coexistent-ils?

La discussion ci-dessus est émaillée de références à une concentration régionale s'inscrivant dans un processus de dispersion mondiale. C'est l'autre grande

caractéristique de la géographie contemporaine de l'innovation. Si l'activité d'innovation est de plus en plus concentrée dans les zones métropolitaines, elle se propage aussi progressivement vers des pôles situés en dehors des centres traditionnels aux États-Unis d'Amérique et en Europe occidentale.

Les données empiriques soulignent à la fois l'importance de la mondialisation de l'innovation et les forces croissantes qui favorisent l'agglomération et la concentration de l'innovation dans des régions spécifiques – souvent des métropoles. Loin d'être antagonistes, ces tendances sont complémentaires et se renforcent mutuellement. Si une seule image peut rendre compte de l'évolution du paysage, c'est bien celle d'un système mondialisé organisé autour de plusieurs pôles. Le système mondial de l'innovation relie les systèmes nationaux de l'innovation et les entreprises mondiales à travers une création de savoirs en dents de scie. Le résultat est un réseau mondial formé de ces pics ou pôles, dont beaucoup sont mieux reliés les uns aux autres qu'à "l'arrière-pays" en termes de création et de diffusion du savoir.

L'ouverture internationale est un trait distinctif des grandes agglomérations d'innovation géographiquement concentrée d'aujourd'hui. Mais les échanges longue distance de connaissances au sein du système économique ne datent pas d'hier. Au cours des première et deuxième révolutions industrielles, le savoir et le matériel voyageaient, les imitations et les rivalités internationales faisaient partie intégrante du paysage et il se trouvait toujours des réseaux de personnes pour contribuer à favoriser ces échanges. Dans le passé, cependant, il fallait souvent exposer les créations réalisées dans une agglomération rivale pour ensuite éventuellement les imiter.

Les pôles de connaissances contemporains entretiennent des liens à longue distance qui se sont organisés et étendus au fil du temps, souvent grâce au codéveloppement de technologies entre les agglomérations, au sein des entreprises et entre des entreprises concurrentes.

De nos jours, les agglomérations génératrices de savoir ne sont donc pas des systèmes locaux fermés, mais plutôt des maillons clés dans des réseaux d'innovation dispersés et mondiaux²³. D'ailleurs, les systèmes d'innovation localisés hautement productifs sont aussi ceux qui nouent le plus de relations longue distance de toutes sortes. Le réseau de liens ainsi tissé permet

d'apporter de nouvelles connaissances dans une région. Les innovateurs s'appuient sur des collaborations à l'intérieur et à l'extérieur des organisations et des régions dans lesquelles ils travaillent.

Ces réseaux de diffusion géographique de l'innovation seront examinés dans la section suivante.

1.2 Les réseaux et la diffusion de l'innovation dans le monde

Au cours des dernières décennies, les réseaux mondiaux de production et de fourniture de biens et de services se sont considérablement développés. Par rapport aux vagues d'internationalisation précédentes, la mondialisation actuelle se caractérise par une proportion beaucoup plus élevée d'échanges intrasectoriels de composants et de biens finals au sein des chaînes de valeur mondiales. Avant 2000, ce commerce intrasectoriel se déroulait essentiellement entre quelques pays, surtout dans l'hémisphère nord. Mais, depuis, il concerne toujours plus les relations entre les économies en développement et le reste du monde. Les réseaux de production mondiaux engendrent souvent des flux commerciaux multiples ou circulaires, les exportations étant intégrées dans des produits ultérieurs qui sont alors importés, ce qui brouille les frontières entre production étrangère et production nationale²⁴.

En d'autres termes, la mondialisation actuelle présente des formes complexes d'interdépendance, non seulement entre l'ensemble des économies, mais aussi au niveau de la mécanique interne du système économique, au sein des entreprises et des industries et entre elles. Ce constat s'applique également aux réseaux et écosystèmes d'innovation sous-jacents, qui sont à la fois une conséquence et, de plus en plus, une cause, de l'intégration de la production mondiale.

Faisant écho à la mondialisation et à la complexité croissantes des systèmes de production, les rouages de la production du savoir sont de plus en plus dispersés et complexes. La mondialisation de l'innovation est le résultat de l'intégration internationale accrue des activités économiques et de l'importance grandissante du savoir dans les processus économiques²⁵.

Du milieu du XX^e siècle jusqu'à la Grande Récession, à partir de 2008 environ, l'activité technologique s'est aussi progressivement internationalisée, avec l'arrivée

de nouveaux pays dans le système international de l'innovation. Plus récemment, on a assisté à la relocalisation sélective de certaines activités clés de R-D et d'innovation dans leur pays d'origine. Parallèlement, cependant, durant la période qui a suivi la récession, les chaînes de valeur ont de plus en plus transcendé les frontières nationales, avec une augmentation de la part des flux commerciaux intra-entreprises et des flux de connaissances qui en résultent²⁶.

Quelles sont les forces économiques qui expliquent la diffusion de l'innovation?

Les forces économiques à l'origine de la diffusion de l'innovation sont très similaires à celles qui favorisent sa concentration dans des pôles spécifiques. Les agents économiques dans un pôle d'innovation donné diffusent l'innovation dans d'autres régions du monde et vice-versa, ce qui explique pourquoi la diffusion de l'innovation mondiale peut être considérée comme un réseau bidirectionnel de flux de savoirs et de technologie.

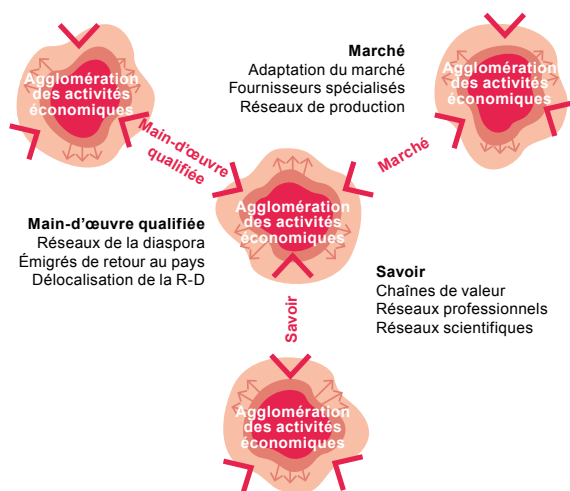
Il convient de rappeler que la diffusion géographique de l'innovation dans les zones périphériques d'une région ou d'un pays est souvent limitée parce que les forces poussant à la concentration sont trop fortes. Cela étant, ces mêmes forces de concentration puissantes à l'œuvre dans un pôle urbain le sont également dans d'autres pôles urbains. Cela peut faire naître des relations de réciprocité qui engendrent une plus grande diffusion de l'innovation et des savoirs. Les régions qui diffusent et reçoivent l'innovation resteront probablement interconnectées, mais les régions périphériques du monde sont souvent laissées pour compte, les flux de savoirs et de technologie convergeant directement vers les principales agglomérations économiques.

La figure 1.2 schématise les trois grandes forces économiques bidirectionnelles – marché, main-d'œuvre qualifiée et savoir – qui constituent les liens d'un réseau international ou interrégional.

La mobilité internationale et interrégionale d'innovateurs ingénieurs est un élément essentiel du paysage contemporain de l'innovation, qui crée un lien interpersonnel entre les pôles. Cette mobilité peut véritablement stimuler la dispersion internationale de l'innovation en renforçant ces réseaux d'innovation²⁷.

L'interconnexion entre les êtres humains, les entreprises et les idées transcende les frontières géographiques

Figure 1.2 Principales forces économiques bidirectionnelles de diffusion de l'innovation



De toute évidence, la diffusion mondiale des savoirs ne résulte pas d'une mobilité aléatoire des personnes, mais plutôt de leurs déplacements entre les lieux où elles sont susceptibles de trouver les bonnes conditions et les bonnes personnes pour libérer leur potentiel d'innovation. Nous l'avons vu, ces réseaux ne servent pas seulement de moyens de dispersion et de mobilité, ce sont aussi des points d'attraction clés pour la main-d'œuvre qualifiée. Celle-ci peut retirer des avantages en termes d'apprentissage et d'expérience en rejoignant des pôles de concentration géographique bénéficiant de nœuds de réseau essentiels et de vastes réseaux. L'acquisition d'expérience et le perfectionnement des compétences figurent parmi les principales raisons pour lesquelles les personnes qualifiées continuent de venir s'installer dans les villes les plus chères, malgré le coût élevé de la vie, contribuant ainsi au creusement rapide des écarts géographiques concernant les salaires de la main-d'œuvre qualifiée. Pour compléter le tableau, on relèvera l'important phénomène de "fuite des cerveaux" qui s'opère aujourd'hui tant au niveau international qu'interrégional.

La mobilité de la main-d'œuvre peut évoluer dans différentes directions. Après s'être concentrés dans une région, les migrants qualifiés engendrent souvent un réseau de diaspora qui relie les régions d'origine et de destination. En outre, de nombreux migrants hautement qualifiés retournent dans leur région d'origine pour y

mettre en pratique leurs compétences supérieures en tant qu'entrepreneurs.

Saxenian (1999) examine l'interaction entre les personnes et les réseaux d'investissement en étudiant la mobilité des entrepreneurs asiatiques qualifiés de et vers la Silicon Valley. Elle explique comment les travailleurs qualifiés viennent dans la Silicon Valley et y acquièrent du capital humain et de l'expérience; ils s'intègrent aux réseaux locaux tout en conservant des liens avec leur pays d'origine. Ainsi, les ingénieurs chinois et indiens formés aux États-Unis d'Amérique coordonnent les activités entre les producteurs de technologie de la Silicon Valley et les spécialistes de la fabrication et de la conception dans les régions de leur pays d'origine. Au fil de leurs déplacements, les entrepreneurs asiatiques partagent leurs connaissances, engendrant le phénomène dit de la "circulation des cerveaux". En s'appuyant sur leurs réseaux, ils semblent également être en mesure de faciliter les investissements dans de nouvelles entreprises commerciales, ce qui met en évidence le mouvement parallèle des réseaux et des canaux d'investissement direct étranger.

De même, les sociétés multinationales qui délocalisent des sites de R-D afin de bénéficier d'une offre exceptionnelle – ou moins chère – de main-d'œuvre dans le domaine de la recherche génèrent également des flux de connaissances bidirectionnels, pour le moins avec la région où se situe leur siège. L'accès aux talents et le coût de la R-D figurent parmi les principales motivations connues des multinationales pour internationaliser la R-D. L'activité mondiale en matière de brevets résulte de plus en plus de la collaboration de grandes équipes opérant dans les limites organisationnelles des multinationales. Par exemple, une part importante des brevets chinois et indiens déposés auprès de l'Office des brevets et des marques des États-Unis d'Amérique (USPTO) est le fruit de collaborations de ce type²⁸.

Les forces du marché et le rôle des multinationales dans l'internationalisation des réseaux

Les forces à l'œuvre dans l'agglomération et la dispersion des marchés créent des liens au sein d'une entreprise, entre différentes entreprises ou entre différents types d'organisation. Par exemple, la taille du marché peut amener une entreprise à délocaliser sa production pour réduire les coûts de transport et bénéficier d'économies d'échelle. Des transferts de technologie seront

forcément nécessaires pour mettre en place le nouveau site de production et des flux inverses de connaissances interviendront également au moment d'adapter le produit à la réglementation et aux goûts locaux.

Les multinationales jouent un rôle décisif dans toutes ces interactions technologiques à longue distance. Outre l'accès à des coûts plus bas et à des talents étrangers, elles choisissent d'internationaliser leurs activités de R-D pour bénéficier d'autres externalités de marché, comme des délais plus courts de mise sur le marché des produits et d'exploitation des zones localisées d'excellence technologique. Les flux inversés d'investissement direct étranger peuvent également profiter aux centres d'innovation établis. Les multinationales des pays à revenu intermédiaire recourent de plus en plus à l'investissement direct étranger pour renforcer leur présence sur le marché et s'approprier des actifs stratégiques, qu'il s'agisse de technologies, de compétences, de connaissances commerciales ou de marques. Il est clair que les compétences technologiques locales ne sont importantes pour attirer ce type d'investissement que si la future filiale se lance dans des activités à forte valeur ajoutée technologique.

Les délocalisations intra et interentreprises des activités de R-D augmentent la performance des entreprises en matière d'innovation²⁹. Les principaux territoires générateurs de savoirs dans le monde sont généralement le berceau d'entreprises phares qui bâtissent ces réseaux internationaux et y participent mais accueillent aussi des entreprises étrangères désireuses d'accéder à leurs écosystèmes propices à la création de savoirs, à leur vivier de talents et à leurs chercheurs.

L'existence d'un réservoir de fournisseurs spécialisés est également une motivation pour tisser des liens avec une autre région. Une région donnée peut se spécialiser dans une certaine technologie qui profitera à des industries complémentaires, même si elles sont situées dans d'autres régions. Des flux de connaissances bidirectionnels s'établiront entre l'acheteur et le fournisseur spécialisé sous la forme de spécifications techniques et de biens équipés de technologies intégrées. Dans les secteurs dotés d'une chaîne d'approvisionnement complexe, ces liens peuvent englober plusieurs pôles, constituant des réseaux de production complexes et souvent internationaux.

On peut soutenir que les forces qui poussent à l'agglomération parviennent à attirer les multinationales et d'autres entreprises – notamment celles à forte valeur

ajoutée – dans des sites particuliers, tant dans les pays développés que dans les pays en développement. Le regroupement qui en résulte rend ces sites progressivement moins dépendants de considérations purement fondées sur les coûts et les ressources technologiques disponibles. Les avantages immatériels liés à la localisation, tels que la diffusion du savoir, sont fortement concentrés dans des régions, des villes et des systèmes locaux spécifiques. Les avantages découlant du dynamisme des nouveaux écosystèmes locaux d'innovation peuvent profiter aux multinationales sur place, là où elles ont leur siège et sur l'ensemble de leur chaîne de valeur. Les flux de connaissances qui en résultent sont donc éminemment bi ou multidirectionnels entre les lieux d'implantation et d'accueil³⁰.

Diffusion des savoirs : interactions entre les organisations et les personnes

De nos jours, la proximité géographique n'est pas la seule source de diffusion du savoir³¹. Les externalités du savoir deviennent des forces qui favorisent la diffusion de l'innovation à travers les interactions qui s'opèrent au niveau des organisations et les réseaux interpersonnels ou professionnels. La proximité géographique peut renforcer ces liens organisationnels et professionnels, mais ce n'est pas une condition sine qua non.

Les interactions longue distance à l'échelle de l'organisation – par exemple, les interactions à l'intérieur des chaînes de valeur mondiales ou des réseaux scientifiques internationaux – réduisent les coûts de transaction au sein des entreprises et des organismes de recherche. Ces structures organisées peuvent faciliter un partage approfondi des connaissances sans qu'elles soient concentrées au même endroit. L'effet est multiplié si les acteurs opèrent selon des règles ou des routines normalisées établies par l'organisation ou le groupement d'organisations dont ils font partie. En 1981, Microsoft a ouvert un campus dans la Silicon Valley uniquement pour établir un lien entre ses activités de Bellevue (et plus tard de Redmond) autour de Seattle et l'effervescence de la baie de San Francisco.

De même, des rapports plus humains et moins institutionnalisés – communautés professionnelles et scientifiques, par exemple – peuvent aussi permettre d'échanger efficacement des connaissances selon un ensemble de règles et de routines fixées d'un commun accord. Cela crée une proximité sociale – allant des liens interpersonnels à l'appartenance à la même

culture ou au même groupe – entre les innovateurs, ce qui réduit les coûts d'interaction, facilite la vérification et instaure un climat de confiance propice à l'échange et à la production de nouveaux savoirs.

Ces forces économiques se juxtaposent et s'entremêlent au point de devenir inséparables. Tout comme les forces motrices de l'agglomération des connaissances, les forces de diffusion du savoir font partie intégrante du raisonnement qui sous-tend la répartition de la main-d'œuvre qualifiée et les forces de diffusion du marché évoquées plus haut.

Comme on l'a vu, l'internationalisation de la R-D des entreprises joue un rôle clé dans toutes ces interactions technologiques à longue distance et les multinationales sont de ce fait l'un des types d'organisation et de nœud de réseau les plus importants dans la diffusion internationale de nouvelles connaissances. Les filiales internationales des multinationales gagnent en autonomie et – lorsque les incitations appropriées sont en place – s'intègrent de plus en plus dans les systèmes d'innovation régionaux et locaux. L'autonomie croissante des filiales internationales confère également une plus grande importance au choix de l'implantation infranationale spécifique qui est déterminé par un plus large éventail de facteurs en dehors des coûts³². Les caractéristiques de l'écosystème régional de l'innovation, y compris ses institutions, jouent un rôle majeur pour attirer les investissements étrangers dans l'innovation et les activités technologiques et sont des facteurs à prendre en compte pour attirer les investissements à des stades plus avancés et à plus forte intensité de savoir des chaînes de valeur mondiales.

L'essor des réseaux mondiaux d'innovation

La production de savoirs et d'innovations a longtemps été un phénomène international, mais ce n'est que récemment qu'elle s'est véritablement mondialisée³³. Aujourd'hui, des acteurs situés dans différents pays peuvent mener des activités d'innovation sous une forme pleinement intégrée. L'innovation est devenue de plus en plus le fruit de réseaux mondiaux reliant des centres de connaissances dispersés³⁴.

C'est dans ce contexte général de mondialisation des savoirs et de l'innovation – dont la production implique un plus haut degré d'intégration fonctionnelle – que le concept de réseaux mondiaux d'innovation a vu le jour. Un réseau mondial d'innovation est un réseau de

collaboration organisé à l'échelle mondiale entre des organisations – entreprises et autres – engagées dans la production de savoirs débouchant sur l'innovation. Les réseaux se caractérisent par : 1) leur portée réellement mondiale – et non pas limitée aux réseaux implantés dans les pays à revenu élevé; 2) leur caractère interconnecté; et 3) le résultat final, à savoir l'innovation³⁵.

C'est sur des stratégies de recherche de connaissances par les organisations concernées que repose la création des réseaux mondiaux d'innovation, ce qui les distingue des réseaux mondiaux de production, qui adoptent des stratégies plus axées sur l'efficacité et la recherche de marchés. Les réseaux mondiaux d'innovation privilégient donc l'échange et l'intégration des savoirs, et l'innovation qui en découle, mais pas dans la production ou la simple fabrication³⁶. Les réseaux mondiaux d'innovation reposent largement sur l'internationalisation de la R-D des entreprises.

De ce point de vue, les multinationales peuvent exercer une forte influence sur la concentration géographique et la diffusion mondiale – la forme – des réseaux mondiaux d'innovation en choisissant où seront localisés l'investissement, la production et l'approvisionnement en connaissances³⁷. Les conditions géographiques et le système d'innovation sectoriel existant sont particulièrement importants pour dynamiser les étapes les plus sophistiquées et à forte valeur ajoutée des chaînes d'approvisionnement, telles que la R-D, la conception ou les services commerciaux avancés³⁸. La délocalisation des activités de R-D a créé de nouvelles architectures interconnectées d'innovation et de recherche, ainsi que de nouveaux modèles de colocalisation avec les activités de production. Cela a offert aux régions et aux villes de nouvelles possibilités de connexion avec différentes parties ou fonctions des chaînes d'approvisionnement mondiales aux fins de promouvoir le progrès économique et l'innovation.

Dans le même temps, la participation mondiale est un défi pour les régions plus faibles, qui risquent d'être enfermées dans des activités à moindre valeur ajoutée et à moindre teneur en innovation. La répartition géographique inégale de la participation et de l'intégration dans les réseaux mondiaux de production et les chaînes de valeur mondiales génère de nouveaux modèles centre-périphérie dans la géographie mondiale de l'innovation.

La plupart des publications sur le sujet consacrées au commerce international indiquent que les liens

organisationnels – tant au sein des entreprises qu'entre elles – sont à l'origine de la formation de réseaux mondiaux d'innovation³⁹. Les co-inventions internationales – l'indicateur par excellence des réseaux mondiaux d'innovation – se sont largement étendues à l'Inde et à la Chine depuis les années 2000, mais une grande partie reste sous le contrôle d'entreprises situées aux États-Unis d'Amérique, au Japon et dans quelques pays d'Europe occidentale. Cela indique que les entreprises peuvent fragmenter le processus de R-D en plusieurs étapes ou segments, comme elles le font pour les marchandises, ce qui permet à de nouveaux pays de participer aux différents segments en fonction de leur avantage comparatif⁴⁰. Cela facilite la transformation des chaînes de valeur ou des réseaux de production mondiaux existants en réseaux mondiaux d'innovation.

De plus, un nombre croissant d'études suggèrent que les relations interpersonnelles, indépendamment de celles propres à l'organisation, jouent également un rôle moteur essentiel dans la formation des réseaux mondiaux d'innovation⁴¹. Ces relations vont de collaborations internationales directes de personne à personne liées à l'innovation à la mobilité internationale des scientifiques, des innovateurs et des entrepreneurs⁴². On notera toutefois que les interactions au sein d'une organisation sont souvent le cadre dans lequel cette collaboration interpersonnelle peut avoir lieu. Les réseaux internes des multinationales ont traditionnellement été un moyen approprié pour surmonter en partie les obstacles liés à la distance géographique et aux différences de culture des pays. Mais la baisse récente des coûts de voyage et de communication a certainement favorisé la multiplication de liens interpersonnels internationaux indépendamment de toute structure organisationnelle⁴³.

1.3 Conclusions

L'innovation a toujours connu des pôles de concentration géographique : Manchester a été à la première révolution industrielle ce que San Francisco est à la troisième. Cependant, pendant une longue période entre ces deux révolutions, la diffusion de la capacité d'innovation est apparue marginale au sein des économies avancées. La forte concentration de l'innovation observée depuis la fin du XX^e siècle doit donc être étudiée de plus près.

Les entreprises avaient tendance à s'agglutiner le long des chaînes d'approvisionnement. Au cours des

première et deuxième révolutions industrielles, l'activité d'innovation a coïncidé avec les principales activités de production, donnant naissance à de grandes villes industrielles, dont certaines concentraient également la R-D et la mise au point de produits. Au cours du siècle dernier, ces modèles d'agglomération ont lentement changé. Le choix des emplacements a été davantage déterminé par des besoins communs en personnel qualifié – en particulier dans le secteur des services – conduisant, par exemple, à la mise en commun du marché du travail entre des secteurs d'innovation différents mais connexes⁴⁴. Dans la troisième révolution industrielle, les activités de production de nombreuses industries ne sont pas très gourmandes en capital et les chaînes d'approvisionnement et de valeur mondiales sont beaucoup plus longues et complexes. Du coup, les principales agglomérations urbaines de l'innovation se spécialisent aujourd'hui dans les tâches abstraites, cognitives et conceptuelles de la R-D et de l'innovation. Ces segments hautement spécialisés et les vastes secteurs tertiaires complémentaires ont remplacé les anciennes tâches de production courantes traditionnellement colocalisées⁴⁵.

Les conséquences de cette nouvelle concentration d'activités innovantes sont considérables. En fin de compte, la répartition géographique de l'innovation façonne le mode de développement économique des villes et des régions au sens large. Plus récemment, une caractéristique importante de la géographie du développement économique a été la disparité interrégionale des revenus au sein des pays (voir chapitre 5). D'une manière générale, les grandes régions métropolitaines – foyers d'écosystèmes agglomérés d'innovation – voient de plus en plus leurs taux de croissance des revenus dépasser ceux des autres régions.

Des divergences existent cependant aussi au sein de ces grandes zones métropolitaines. Les emplois dans les activités d'innovation ont tendance à être mieux rémunérés que les autres. La croissance rapide dans une zone géographique concentrée et dans un secteur particulier peut avoir d'autres effets sur l'économie locale. Alors que les emplois hautement qualifiés créent un plus grand nombre d'emplois peu qualifiés, l'afflux de hauts salaires, combiné à une offre de logements limitée, tend à aggraver les inégalités, entraînant une baisse du revenu disponible des ménages à faible revenu⁴⁶. Au bout du compte, cela peut conduire à un tri sélectif par groupes de compétences entre les secteurs innovants à revenu élevé et les secteurs non innovants à faible revenu, excluant la main-d'œuvre peu

qualifiée des possibilités et des commodités inhérentes à la vie et au travail dans un environnement innovant⁴⁷.

Ces tendances semblent prévaloir dans les plus grands pôles d'innovation généraux à l'échelle mondiale. Ces pôles sont les principaux sièges et lieux d'accueil des grandes sociétés multinationales fondées sur le savoir et les véritables bénéficiaires de la mondialisation, car ils centralisent la prise de décision et le contrôle des entreprises, la production et les échanges de connaissances, les compétences et les emplois. Mais leur prospérité va de pair avec des niveaux élevés d'inégalité des revenus et de ségrégation géographique, amenant certains à parler d'une nouvelle "crise urbaine"⁴⁸.

À l'heure actuelle, peu d'éléments probants permettent de tirer des conclusions définitives concernant les causes et les conséquences de la concentration et de la diffusion de l'activité d'innovation. Cela tient en partie à la nature complexe des processus d'innovation et à leurs retombées incertaines. Il n'empêche que les conséquences à long terme de ces phénomènes doivent être examinées avec soin, malgré nos connaissances limitées.

Notes

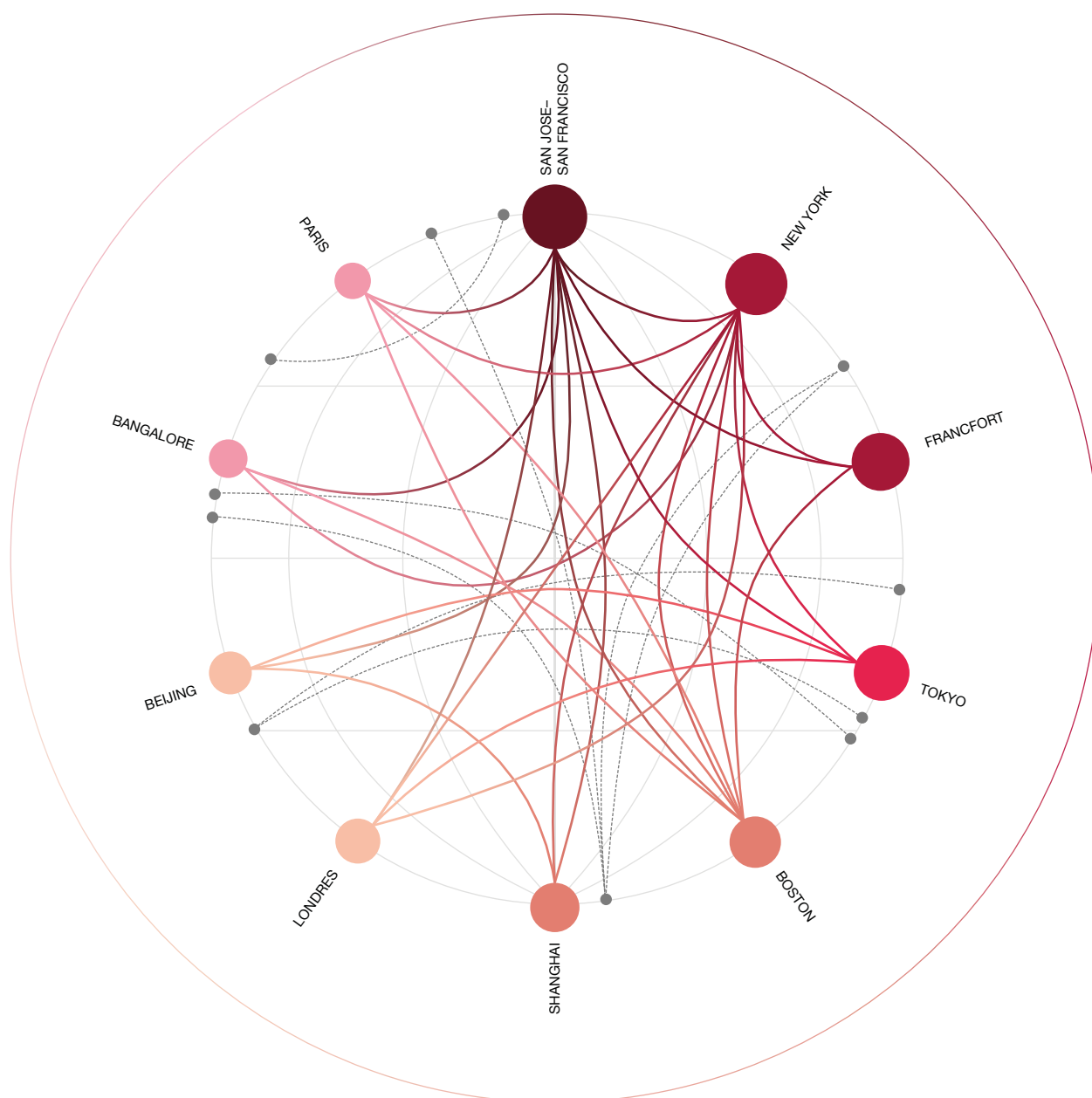
- 1 Le présent chapitre se fonde sur Crescenzi *et al.* (2019b).
- 2 Acemoglu *et al.* (2005), Mokyr (2005) et OMPI (2015).
- 3 Crafts et Venables (2003).
- 4 Storper (2018).
- 5 Glaeser et Maré (2001).
- 6 Crescenzi *et al.* (2007).
- 7 Kemeny et Storper (2019).
- 8 Scott et Storper (1987).
- 9 Crescenzi *et al.* (2019b).
- 10 Krugman (1991).
- 11 Boschma et Frenken (2006).
- 12 Ces trois externalités sont connues sous le nom d'«externalités marshaliennes» (Krugman, 1991).
- 13 Boschma et Frenken (2006).
- 14 Lécuyer (2006).
- 15 Celles-ci sont connues sous le nom d'«externalités jacobiennes» (Jacobs, 1961).
- 16 Frenken *et al.* (2007).
- 17 Chatterji *et al.* (2013).
- 18 Mazzucato (2015).
- 19 Hardin (2008).
- 20 Voir, p. ex., Hershberg *et al.* (2007).
- 21 Crescenzi *et al.* (2019b).
- 22 Davis et Dingel (2019) et Feldman *et al.* (2005).
- 23 Bathelt *et al.* (2004), Boschma (2005) et Frenken *et al.* (2007).
- 24 OMPI (2017).
- 25 Archibugi et lammarino (2002).
- 26 Crescenzi *et al.* (2019b).
- 27 Breschi *et al.* (2017)
- 28 Branstetter *et al.* (2014). Voir aussi le chapitre 2.
- 29 Nieto et Rodríguez (2011).
- 30 lammarino et McCann (2018).
- 31 Boschma (2005).
- 32 Cantwell (1995).
- 33 Chaminade *et al.* (2016).
- 34 Cano-Kollmann *et al.* (2016).
- 35 Barnard et Chaminade (2011).
- 36 Chaminade *et al.* (2014)
- 37 Crescenzi *et al.* (2019a).
- 38 Alcácer et Chung (2007) et Chidlow *et al.* (2009).
- 39 Bathelt *et al.* (2004).
- 40 Branstetter *et al.* (2014).
- 41 Lorenzen et Mudambi (2013).
- 42 Breschi *et al.* (2017) et Saxenian (1994, 1999).
- 43 Cano-Kollman *et al.* (2016).
- 44 Diodato *et al.* (2018).
- 45 Crescenzi et lammarino (2017) et Duranton et Puga (2005).
- 46 Moretti (2012).
- 47 Diamond (2016).
- 48 Florida (2017) et Rodriguez-Pose (2018).

Références

- Acemoglu, D., S. Johnson et J. A. Robinson (2005). Institutions as a fundamental cause of long-run growth. In Aghion, P. et S. N. Durlauf (éd.), *Handbook of Economic Growth*, vol. 1. Amsterdam: Elsevier, 385-472.
- Alcácer, J. et W. Chung (2007). Location strategies and knowledge spillovers. *Management Science*, 53(5), 760-776.
- Archibugi, D. et S. Iammarino (2002). The globalization of technological innovation: definition and evidence. *Review of International Political Economy*, 9(1), 98-122.
- Barnard, H. et C. Chaminade (2011). Global Innovation Networks: Towards a Taxonomy. *Paper No. 2011/04*. Lund, Suède: Université de Lund, CIRCLE laboratory.
- Bathelt, H., A. Malmberg et P. Maskell (2004). Clusters and knowledge: local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation. *Progress in Human Geography*, 28(1), 31-56.
- Boschma, R. (2005). Proximity and innovation: a critical assessment. *Regional Studies*, 39(1), 61-74.
- Boschma, R. et K. Frenken (2006). Why is economic geography not an evolutionary science? Towards an evolutionary economic geography. *Journal of Economic Geography*, 6, 273-302. doi.org/10.1093/jeg/lbi022.
- Branstetter, L., G. Li et F. Veloso (2014). The rise of international co-invention. In Jaffe, A. B. et B. F. Jones (eds), *The Changing Frontier: Rethinking Science and Innovation Policy*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 35-168.
- Breschi, S., F. Lissoni et E. Miguelez (2017). Foreign-origin inventors in the USA: testing for diaspora and brain gain effects. *Journal of Economic Geography*, 17, 1009-1038.
- Cano-Kollmann, M., J. Cantwell, T. J. Hannigan, R. Mudambi et J. Song (2016). Knowledge connectivity: An agenda for innovation research in international business. *Journal of International Business Studies*, 47(3), 255-262. doi.org/10.1057/jibs.2016.8.
- Cantwell, J. (1995). The globalisation of technology: what remains of the product cycle model? *Cambridge Journal of Economics*, 19(1), 155-174.
- Chaminade, C., C. De Fuentes, G. Harirchi et M. Plechero (2016). The geography and structure of global innovation networks: global scope and regional embeddedness. In Shearmur R., C. Carrincazeaux et D. Doloreux (éd.), *Handbook on the Geographies of Innovation*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Chatterji, A., E. Glaeser et W. Kerr (2013). Clusters of Entrepreneurship and Innovation. *NBER Working Paper* 19013. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Chidlow, A., L. Salciuviene et S. Young (2009). Regional determinants of inward FDI distribution in Poland. *International Business Review*, 18(2), 119-133.
- Crafts, N. et T. Venables (2003). Globalization in history: A geographical perspective. In Bordo, M. D., A. M. Taylor et J. G. Williamson (éd.), *Globalization in Historical Perspective*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 323-370.
- Crescenzi, R. et S. Iammarino (2017). Global investments and regional development trajectories: the missing links. *Regional Studies*, 51(1), 97-115.
- Crescenzi, R., A. Rodríguez-Pose et M. Storper (2007). On the geographical determinants of innovation in Europe and the United States. *Journal of Economic Geography*, 7(6), 673-709.
- Crescenzi, R., O. Harman et D. Arnold (2019a). Move On Up! Building, Embedding and Reshaping Global Value Chains Through Investment Flows. Insights for Regional Innovation Policies. *Document de travail*. Paris: OCDE.
- Crescenzi, R., S. Iammarino, C. Ioramashvili, A. Rodríguez-Pose et M. Storper (2019b). Répartition géographique de l'innovation: pôles de concentration locaux et réseaux mondiaux. *Document de recherche économique de l'OMPI n° 57*. Genève: OMPI.
- Davis, D. R. et J. I. Dingel (2019). A spatial knowledge economy. *American Economic Review*, 109(1), 153-170.
- Diamond, R. (2016). The determinants and welfare implications of US workers' diverging location choices by skill: 1980-2000. *American Economic Review*, 106(3), 479-524.
- Diodato, D., F. Neffke et N. O'Clery (2018). Why do industries coagglomerate? How Marshallian externalities differ by industry and have evolved over time. *Journal of Urban Economics*, 106, 1-26.

- Duranton, G. et D. Puga (2005). From sectoral to functional urban specialisation. *Journal of Urban Economics*, 57(2), 343-370.
- Feldman, M., J. Francis et J. Bercovitz (2005). Creating a cluster while building a firm: entrepreneurs and the formation of industrial clusters. *Regional Studies*, 39(1), 129-141.
- Florida, R. (2017). *The New Urban Crisis*. New York: Basic Books.
- Frenken, K., F. Van Oort et T. Verburg (2007). Related variety, unrelated variety and regional economic growth. *Regional Studies*, 41(5), 685-697.
- Glaeser, E. L. et D. C. Maré (2001). Cities and skills. *Journal of Labor Economics*, 19(2), 316-342.
- Hardin, J. W. (2008). North Carolina's Research Triangle Park. Overview, history, success factors and lessons learned. In Hulsink, W. et H. Dons (éd.), *Pathways to High-Tech Valleys and Research Triangles*. Wageningen UR Frontis Series, 24. Dordrecht: Springer, 27-51.
- Hershberg, E., K. Nabeshima et S. Yusuf (2007). Opening the ivory tower to business: university-industry linkages and the development of knowledge-intensive clusters in Asian cities. *World Development*, 35(6), 931-940.
- Iammarino, S. et P. McCann (2018). Network geographies and geographical networks: co-dependence and co-evolution of multinational enterprises and space. In Clark, G. L., M. P. Feldman, M. S. Gertler et D. Wójcik (éd.), *The New Oxford Handbook of Economic Geography*. Oxford: Oxford University Press.
- Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. New York: Random House.
- Kemeny, T. et M. Storper (2019). Superstar Cities and Left Behind Places: Disruptive Innovation, Labor Demand and Interregional Inequality. Paper presented at the 40th Annual Meeting of the Italian Regional Science Association, L'Aquila, Italie, septembre.
- Krugman, P. (1991). Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99(3), 483-499.
- Lécuyer, C. (2006). *Making Silicon Valley: Innovation and the Growth of High Tech, 1930-1970*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lorenzen, M. et R. Mudambi (2013). Clusters, connectivity and catch-up: Bollywood and Bangalore in the global economy. *Journal of Economic Geography*, 13, 501-534. doi.org/10.1093/jeg/lbs017.
- Mazzucato, M. (2015). *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Londres: Anthem Press.
- Mokyr, J. (2005). The intellectual origins of modern economic growth. *The Journal of Economic History*, 65(2), 285-351.
- Moretti, E. (2012). *The New Geography of Jobs*. Boston, MA: Houghton Mifflin Harcourt.
- Nieto, M. J. et A. Rodríguez (2011). Offshoring of R&D: looking abroad to improve innovation performance. *Journal of International Business Studies*, 42, 345-361.
- Rodriguez-Pose, A. (2018). The revenge of the places that don't matter (and what to do about it). *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 11(1), 189-209.
- Saxenian, A. (1994). Regional networks: industrial adaptation in Silicon Valley and route 128. *Cityscape*, 2(2), 41-60.
- Saxenian, A. (1999). *Silicon Valley's New Immigrant Entrepreneurs*. San Francisco, CA: Public Policy Institute of California.
- Scott, A. J. et M. Storper (1987). High technology industry and regional development: a theoretical critique and reconstruction. *International Social Science Journal*, 112, 215-232.
- Storper, M. (2018). Regional innovation transitions. In Glückler, J., R. Suddaby et R. Lenz (éd.), *Knowledge and Institutions*. Francfort: Springer, 197-225.
- OMPI (2015). *Rapport 2015 sur la propriété intellectuelle dans le monde. Innovations majeures et croissance économique*. Genève: OMPI.
- OMPI (2017). *Rapport 2017 sur la propriété intellectuelle dans le monde. Le capital immatériel dans les chaînes de valeur mondiales*. Genève: OMPI.

Les 10 premiers pôles d'innovation collaboratifs du monde représentent 26% des coventions internationales.



Réseaux mondiaux de pôles d'innovation

Pendant la majeure partie du XXe siècle, les entreprises multinationales situées dans des pays à revenu élevé ont veillé à ce que leur recherche-développement (R-D) effectuée à l'étranger ait toujours lieu dans d'autres économies riches, en particulier aux États-Unis d'Amérique, dans des pays d'Europe occidentale et plus tard au Japon. Cette tendance était diamétralement opposée à celle de la production, que les économies riches ont sous-traitée de manière croissante à des économies en développement à revenu moyen¹.

À partir des années 1980 et 1990, la situation a changé. Pour créer de nouveaux savoirs scientifiques et technologiques, il est devenu en plus en plus souvent nécessaire que des institutions et des organisations collaborent entre elles, qu'elles soient publiques ou privées ou encore nationales ou multinationales, et quel que soit leur emplacement. Progressivement, la Chine, l'Inde, l'Europe orientale et d'autres économies à revenu moyen sont devenues des cibles de plus en plus importantes de l'investissement étranger direct (IED) que les multinationales consacrent à la R-D, ainsi que des sources de nouveaux savoirs.

Les besoins croissants de savoirs complexes et spécialisés et les interactions technologiques aux niveaux national et international ont paradoxalement conduit à la fois à une concentration et à une dispersion géographiques de la création d'innovations, comme nous l'avons montré dans le chapitre premier. D'une part, les organisations ont cherché à installer leurs activités et leurs interactions visant à créer de l'innovation partout où elles pouvaient trouver des collaborateurs de haute qualité à moindre coût. D'autre part, les forces du marché, les économies d'échelle et la nécessité de pouvoir communiquer face à face et mener des interactions pluridisciplinaires, compte tenu de la complexité de ces interactions, ont favorisé la proximité géographique.

Les réseaux d'innovation mondiaux ont imprimé un mouvement centrifuge déterminant dans la répartition géographique des activités de création de savoirs. L'IED consacré aux savoirs ne vise pas des pays dans leur ensemble, mais certains lieux bien précis dans les pays concernés. La plupart des collaborations, des investissements ou des mouvements internationaux concernant des travailleurs spécialisés interviennent entre des centres bien particuliers de production de savoirs. Au demeurant, les réseaux d'innovation mondiaux ne se contentent pas de transcender les frontières, ils relient entre eux des lieux particuliers au sein de différents pays et donnent à ces lieux davantage d'importance à l'échelle nationale; à l'intérieur des frontières d'un pays, des sous-réseaux d'innovation interrégionaux coexistent avec des réseaux mondiaux.

Dès lors, il est essentiel de comprendre de manière empirique la concentration et la dispersion géographiques des différents lieux de production des savoirs scientifiques et techniques dans le monde, ainsi que leurs interactions. À cette fin, il faut établir une cartographie détaillée des activités d'innovation au sein de chaque pays pour voir comment ces activités contribuent à la dispersion des échanges mondiaux en matière de savoirs. Il est notamment important de déterminer si la croissance des centres ou des pôles nationaux de production de savoirs conduit à un accroissement général de la collaboration et des investissements internationaux, ou si elle a simplement pour effet d'aspirer des activités novatrices au détriment d'autres zones du pays ou de régions plus larges, dans une sorte de jeu à somme nulle. Cette étude peut être particulièrement pertinente pour les économies en développement, dont les systèmes nationaux d'innovation peuvent devenir moins dépendants des activités de R-D des multinationales étrangères si les entreprises locales parviennent à se consolider et que des politiques publiques ciblées encouragent l'innovation locale, permettant à ces entreprises de faire évoluer leurs collaborations nationales et internationales ou d'en tirer un meilleur parti.

Par ailleurs, la mondialisation des savoirs entraîne des déséquilibres dans la répartition des activités d'innovation au sein des pays. À mesure que les centres de production de savoirs gagnent en importance et intensifient leurs échanges dans le monde entier, les villes et les régions qui ne participent pas à ces échanges risquent d'être marginalisées (voir le chapitre 5).

Le présent chapitre vise à documenter l'évolution des interactions menées à l'échelle de la planète pour créer des savoirs, et à montrer comment les forces centrifuges et centripètes décrites au chapitre premier conduisent à l'apparition de réseaux mondiaux de pôles d'innovation extrêmement concentrés et de groupes de niche spécialisés. Il repose sur une base de données récente de publications scientifiques géocodées (articles scientifiques et comptes rendus de conférences) ainsi que sur des données provenant de brevets, qui permettent de suivre l'évolution de l'innovation (voir l'encadré 2.1) et de mettre en évidence un certain nombre de tendances sur le long terme depuis le milieu des années 1970.

Ce chapitre est organisé en quatre parties. La première vise à évaluer dans quelle mesure la production de

savoirs scientifiques et technologiques s'est internationalisée, l'accent étant mis sur l'accroissement de la participation de pays à revenu moyen, en particulier la Chine. Elle contient en outre des éléments complémentaires démontrant que la production de savoirs se concentre toujours plus sur le plan géographique, et présente les principales agglomérations (pôles et regroupements) en termes d'innovation dans chaque pays. La deuxième partie contient une analyse des interactions scientifiques et technologiques entre les pays qui contribue à mettre en évidence la mondialisation de l'innovation. Elle montre notamment qu'en sous-traitant la production de savoirs à l'échelle internationale, les entreprises jouent un rôle moteur dans le développement des réseaux d'innovation mondiaux. La troisième partie a pour but de montrer dans quelle mesure les deux types d'agglomérations concourent à former un réseau d'innovation réellement mondial. La partie finale présente les principales conclusions du chapitre.

Encadré 2.1 Données géocodées provenant de brevets et de publications scientifiques

Données de brevets

Les données de brevets employées dans le présent rapport sont issues de tous les types de documents de brevet (que le brevet ait ou non été octroyé) déposés entre 1970 et 2017 dans tous les offices des brevets du monde, dès lors que ces documents se trouvent dans la base de données PATSTAT de l'Office européen des brevets (OEB) ou dans les recueils constitués par l'OMPI au titre du Traité de coopération en matière de brevets (PCT). L'unité d'analyse est le premier dépôt d'un jeu de documents de brevet déposé dans un ou plusieurs pays au titre de la même invention. Chaque jeu de documents contenant un premier dépôt, et éventuellement plusieurs autres dépôts ultérieurs constitue une famille de brevets. Dans l'analyse, les familles de brevets sont divisées entre celles qui ont une portée internationale et celles qui n'ont qu'une portée nationale. Les familles de brevets de portée internationale correspondent à des déposants qui souhaitent protéger leur brevet dans au moins une juridiction en plus de celle de leur pays de résidence. Ces familles de brevets peuvent avoir été déposées uniquement auprès de l'OEB ou du PCT. Les familles

de brevets de portée nationale, quant à elles, n'ont été déposées que dans le pays de résidence du déposant; tel est par exemple le cas d'un déposant habitant au Japon qui ne dépose sa demande qu'auprès de l'Office des brevets du Japon.

Dans la mesure du possible, le géocodage, c'est-à-dire le fait d'attribuer des coordonnées géographiques à un lieu particulier, repose sur l'adresse de l'inventeur. Celle-ci est établie au regard des meilleures sources de données disponibles parmi les documents d'une famille de brevets². Beaucoup d'adresses sont géocodées à un niveau de précision extrêmement élevé (par exemple la rue ou le pâté de maisons), mais d'autres ne comportent que le code postal d'une ville ou d'un quartier. Pour que les données restent comparables à l'échelle mondiale, et en raison du peu de données disponibles sur l'adresse des inventeurs dans certains recueils nationaux, l'analyse des groupes n'est fondée que sur des brevets de portée internationale.

Données de publications scientifiques

Les données employées dans le présent rapport qui proviennent de publications scientifiques ont été extraites de dossiers datant de 1998 à 2017. Ces dossiers se trouvaient dans le *Science Citation Index Expanded* (SCIE), une base de données de citations disponible sur le site Web of Science et publiée par la société *Clarivate Analytics*. L'analyse porte sur des observations renvoyant à des articles scientifiques et des comptes rendus de conférences, qui constituent l'essentiel de ces données.

Le rapport repose sur l'hypothèse selon laquelle les recherches menées pour une publication donnée se sont déroulées dans les institutions et les organisations auxquelles les auteurs ont déclaré être affiliés. Presque tous les lieux correspondants étaient géocodés au niveau de la ville ou du quartier. Lorsque des auteurs ont déclaré être affiliés à plusieurs organisations pour une même publication, toutes les adresses ont été prises en compte.

2.1 Les deux aspects de la production mondiale de savoirs

La création de savoirs se disperse de plus en plus vite partout dans le monde

Où les savoirs sont-ils produits? La répartition géographique de cette production diffère-t-elle de celle d'autres activités économiques? Certains éléments de preuve empiriques indiquent que les activités liées à la production de savoirs (notamment les dépenses de R-D, la création de brevets ou les publications scientifiques) sont en général plus concentrées, d'un point de vue géographique, au sein de certains pays que d'autres activités économiques fondamentales, ou encore que la population mondiale, les échanges commerciaux ou l'IED. Pourtant, malgré cette concentration plus forte, la tendance mondiale est à une certaine dispersion géographique internationale de l'innovation dans le temps³.

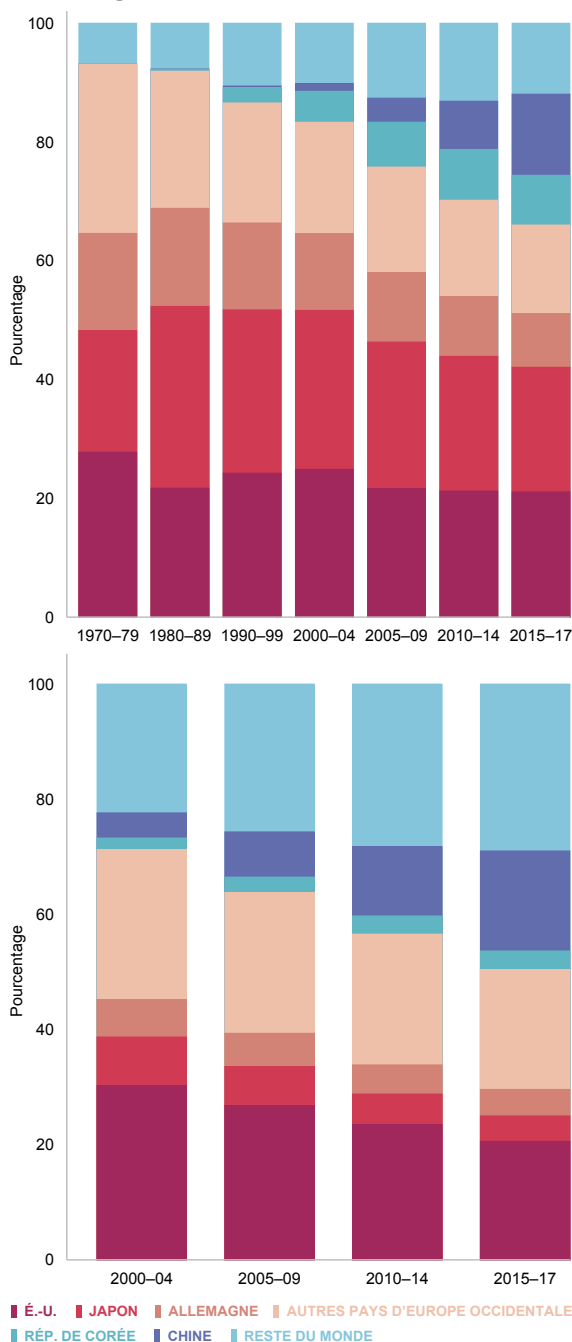
Pendant la majeure partie de la période allant de 1970 à 2000, trois pays seulement (les États-Unis d'Amérique, le Japon et l'Allemagne) ont représenté deux tiers de toutes les activités liées aux dépôts de brevet dans le monde (figure 2.1). Si l'on ajoute le reste de l'Europe occidentale (notamment le Royaume-Uni, la France, la Suisse et l'Italie), cette proportion atteint environ 90%.

Néanmoins, la part du reste du monde dans la production de nouvelles technologies, mesurée à l'aune du nombre de brevets, a lentement progressé au cours de ces trois décennies, surtout aux dépens de plusieurs économies d'Europe occidentale. Le reste du monde est ainsi passé de moins de 6% au début des années 1970 à plus de 13% au début des années 2000. En outre, seule une faible partie de cette augmentation était due à la République de Corée et à la Chine.

Au cours des deux dernières décennies, cette tendance s'est accélérée de manière remarquable, tant au regard de la production technologique (brevets) que de la publication d'articles scientifiques. Le reste du monde représente désormais presque un tiers de toutes les activités liées aux dépôts de brevet depuis le début des années 2010. Les données concernant les publications scientifiques attestent d'une dispersion encore plus importante: le reste du monde, qui représentait moins d'un quart de ces publications, en a produit environ la moitié au cours d'une période approximativement équivalente.

Deux décennies pendant lesquelles la création de savoirs s'est dispersée de plus en plus vite

Figure 2.1 Évolution de la part des dépôts de brevet (en haut) et des publications (en bas) dans les grandes économies



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les notes techniques).
Notes: L'Allemagne n'est pas prise en compte dans les autres pays d'Europe occidentale. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

Au cours de cette période, le reste du monde (un groupe hétérogène réunissant quelques pays à revenus élevés comme le Canada ou la République de Corée, et une majorité d'économies à revenu moyen ou faible) a surpassé, en termes de part de production de savoirs, non seulement l'Europe occidentale mais aussi les États-Unis d'Amérique et le Japon. Incontestablement, la Chine et la République de Corée sont à l'origine d'une part majeure de cette dispersion internationale, mais elles ne l'expliquent pas complètement. Au demeurant, même si l'on ajoutait ces deux économies asiatiques au groupe de l'Europe occidentale, des États-Unis d'Amérique et du Japon, le reste du monde continuerait d'afficher un accroissement de sa part des deux indicateurs de la production de savoirs.

Comment expliquer cette dispersion croissante? En tout premier lieu par l'essor des pays asiatiques, qui sont devenus des acteurs mondiaux de l'innovation: depuis les années 2000, l'Asie dans son ensemble a accru sa part du volume total de brevets déposés, passant de 32 à 48%, ainsi que sa part du volume total de publications scientifiques, qui est passée de 17 à 36%. Cette évolution traduit notamment le développement de la Chine et de la République de Corée; elle a compensé le recul relatif de la part du Japon dans le volume de brevets et de publications.

Par ailleurs, compte tenu du fait qu'elles partent de très loin, de nombreuses économies de l'Asie occidentale, centrale, du Sud et du Sud-Est ont vu leur part de dépôts de brevet augmenter de manière remarquable (tableau 2.1). Il en va de même pour les publications scientifiques, dont leur part est passée de plus de 5% à plus de 10% en deux décennies à peine. Parmi ces économies, la Turquie, Israël, l'Inde, Singapour et la République islamique d'Iran occupent les premières places en termes de production d'innovations.

Sur d'autres continents, certaines économies ont également contribué à disperser la création des savoirs au cours des deux dernières décennies, notamment au regard des publications scientifiques. L'Océanie, surtout animée par l'Australie, a connu une augmentation faible mais régulière de sa part de publications scientifiques; en revanche, sa part de dépôts de brevet a diminué depuis le début des années 2000. Les économies d'Amérique latine et des Caraïbes ont connu quant à elles un accroissement de 36% de leur part de publications scientifiques au cours des deux dernières décennies, et elles ont doublé leur part de dépôts de brevet depuis 1970; il faut dire qu'elles

La part des innovations détenue par l'Asie augmente considérablement

Tableau 2.1 Évolution des dépôts de brevet et des publications scientifiques par région et pour certains pays

Région (pays)	Brevets							Publications			
	1970-79	1980-89	1990-99	2000-04	2005-09	2010-14	2015-17	2000-04	2005-09	2010-14	2015-17
ACSSE	0,1%	0,1%	0,6%	1,0%	1,6%	2,1%	2,0%	3,2%	4,8%	6,7%	7,5%
Inde	0,0%	0,0%	0,1%	0,5%	1,0%	1,4%	1,3%	2,0%	2,6%	3,2%	3,5%
Singapour	0,0%	0,0%	0,1%	0,3%	0,4%	0,4%	0,3%	0,4%	0,5%	0,5%	0,5%
ECO	3,2%	3,8%	4,9%	1,1%	1,3%	1,4%	1,3%	5,8%	5,9%	5,8%	5,6%
Fédération de Russie	0,7%	1,4%	2,7%	0,4%	0,5%	0,5%	0,4%	2,4%	1,9%	1,7%	1,8%
Pologne	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	1,1%	1,3%	1,3%	1,3%
ALC	0,3%	0,3%	0,3%	0,4%	0,5%	0,6%	0,6%	3,0%	3,5%	4,0%	4,0%
Brésil	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	1,5%	2,0%	2,3%	2,3%
Asie occidentale	0,3%	0,3%	0,7%	1,1%	1,4%	1,6%	1,7%	2,3%	2,8%	3,0%	3,1%
Turquie	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	1,0%	1,5%	1,7%	1,7%
Israël	0,2%	0,3%	0,6%	0,9%	1,2%	1,1%	1,1%	0,9%	0,8%	0,6%	0,6%
Océanie	0,8%	1,1%	1,1%	1,4%	1,3%	0,9%	0,9%	2,4%	2,4%	2,6%	2,8%
Australie	0,7%	1,0%	1,0%	1,2%	1,1%	0,8%	0,8%	2,0%	2,1%	2,3%	2,5%
Afrique	0,3%	0,2%	0,2%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	1,1%	1,3%	1,6%	1,8%
Égypte	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%	0,4%	0,5%
Afrique du Sud	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,3%	0,4%	0,4%	0,4%
Total	4,8%	5,8%	7,8%	5,3%	6,4%	6,8%	6,7%	17,8%	20,7%	23,6%	24,9%

Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les notes techniques).

Notes: ECO = Europe centrale et orientale; ALC = Amérique latine et Caraïbes; ACSSE = Asie centrale, du Sud et du Sud-Est. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

partaient également de très loin. Les pays africains ont connu un accroissement marqué, en termes relatifs, de leur part de publications scientifiques, mais leur part de dépôts de brevet, qui était déjà très faible, a chuté. Au début de cette période, les pays d'Europe centrale et orientale, emmenés par la Fédération de Russie, détenaient la part de production d'innovations (au regard des deux critères) la plus importante après l'Amérique du Nord, l'Europe occidentale et l'Asie orientale. Cependant, ces économies ont connu par la suite un recul brutal de leur part de dépôts de brevet, ainsi qu'un léger recul des publications scientifiques.

Dans chacune de ces régions, la production de savoirs se concentre dans un petit nombre de pays, surtout en ce qui concerne les brevets. Tel est notamment le cas de l'Inde et de la République islamique d'Iran en Asie centrale et du Sud; de Singapour en Asie du Sud-Est; de la Fédération de Russie et de la Pologne en Europe centrale et orientale; du Brésil et du Mexique en Amérique latine; d'Israël et de la Turquie au Moyen-Orient; de l'Australie en Océanie; et de l'Égypte et

de l'Afrique du Sud en Afrique. Ce sont ces leaders régionaux qui déposent l'essentiel du petit nombre de brevets créés sur leur sous-continent. Ils sont aussi à l'origine de la majeure partie des publications scientifiques, surtout en ce qui concerne le Brésil en Amérique latine et l'Inde et la République islamique d'Iran en Asie centrale et du Sud.

Les innovations peuvent avoir une valeur scientifique et technologique inégale. Les découvertes scientifiques et technologiques majeures exercent un effet de rupture et influencent les découvertes ultérieures; elles sont donc plus souvent citées. Les économies à revenu élevé consacrent davantage de dépenses à la production de ce type d'innovations. Si elles restent un indicateur de valeur économique imparfait, les citations de brevets et de publications scientifiques traduisent néanmoins la visibilité et l'importance de certains travaux de recherche pour d'autres innovateurs, et par conséquent la valeur de ces travaux.

Les données relatives aux brevets et aux publications scientifiques montrent que plus l'innovation a de valeur (mesurée en termes de citations) et plus elle est concentrée (figure 2.2). Les États-Unis d'Amérique, en particulier, détiennent une part des brevets et des publications les plus cités qui est disproportionnée par rapport à celle des autres économies. Pourtant, même à cet égard on observe une tendance à la dispersion : au cours de deux dernières décennies, les États-Unis d'Amérique, le Japon et l'Europe occidentale ont connu une baisse de la concentration des productions d'innovations les plus valorisées. Là encore, la Chine et la République de Corée ont joué un rôle majeur dans ce phénomène, mais d'autres économies ont aussi contribué à cette dispersion, quoique celle-ci ait été moins rapide que pour des publications et des brevets moins fréquemment cités.

En résumé, la Chine semble être à l'origine d'une large part de la dispersion des activités d'innovation scientifique et technologique dans le monde au cours des deux dernières décennies, quoique beaucoup d'autres pays aient également contribué à cette tendance. Cependant, de nombreux pays à faible revenu sont systématiquement exclus de l'innovation internationale⁴. Curieusement, l'essor rapide récemment observé en Chine, et dans une moindre mesure en République de Corée implique aussi une reconcentration des parts de la production d'innovations à l'échelle mondiale, mais dans des lieux différents. Cette reconcentration coïncide avec une tendance analogue observée dans la répartition des dépenses en R-D après 2008, au début de la grande récession, la Chine et la République de Corée ayant toutes deux accru leur part de ces dépenses. Globalement, la production d'innovations a augmenté en volume et s'est davantage dispersée à l'échelle mondiale, mais elle reste, pour l'essentiel, le fait d'un petit nombre de pays.

L'accroissement de la concentration est un phénomène local

La répartition géographique des inventions et des activités scientifiques est inégale au sein même de chaque pays. Dans le contexte de l'accroissement de la production d'innovations et de sa dispersion internationale, un phénomène intéressant apparaît : rien ne prouve clairement que la production de savoirs se disperse à l'intérieur de chaque pays.

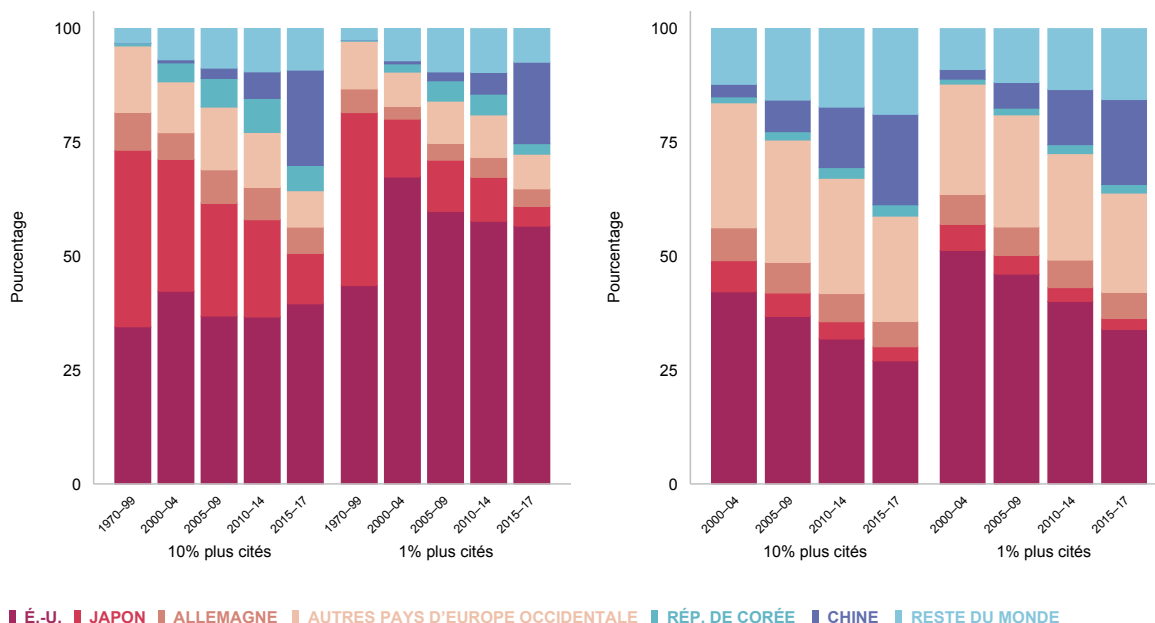
Dans chaque économie, un petit nombre de zones administratives accaparent souvent la majeure partie de la production scientifique et technologique (tableau 2.2). Aux États-Unis d'Amérique, trois des 50 États produisent presque 40% des inventions (en nombre de brevets) et près de 30% des publications scientifiques. Et cependant, les États-Unis d'Amérique présentent la concentration géographique la plus faible des grandes économies. Au Japon, trois des 47 préfectures produisent 56% des brevets et 35% des publications scientifiques. En Chine, trois des 33 provinces regroupent 60% des brevets et près de 40% des publications scientifiques. En Europe, cette concentration est encore plus importante, mais le nombre de régions est plus faible. En Allemagne, trois des 16 États produisent deux tiers des brevets et la moitié des publications scientifiques. De même, trois des 18 régions françaises cumulent environ 60% de la production de savoirs.

La concentration régionale de brevets au sein de ces économies s'est accrue au cours de la dernière décennie. Dans tous les cas sauf en France, les trois premières régions (tableau 2.2) ont cumulé plus de brevets entre 2011 et 2015, ce qui révèle une tendance à une plus grande concentration (et non à une dispersion) dans chaque pays. Il est intéressant de noter que les trois premières régions ne sont pas nécessairement les mêmes au cours des deux périodes concernées, quoique les changements soient mineurs. Toutefois, en ce qui concerne les publications scientifiques, les trois premières régions ont peu évolué au cours des deux périodes indiquées dans le tableau. Les trois premières provinces de la Chine sont les seules à révéler une dispersion géographique plus marquée de la production scientifique. Le fait que l'emplacement et le budget des institutions universitaires découlent de processus décisionnels aussi longs que complexes peut expliquer en partie cette stabilité des tendances en matière de publication scientifique.

Ces tendances ne s'appliquent pas seulement aux économies les plus innovantes décrites dans la partie précédente. Dans la plupart des pays, un petit nombre de zones sont devenues de véritables pôles d'innovation, très en avance sur le reste du pays. Tel est notamment le cas en Inde, en Australie et dans plusieurs pays d'Asie du Sud-Est, du Moyen-Orient, d'Amérique latine et d'Afrique.

Plus la valeur est élevée, plus la concentration est importante

Figure 2.2 Évolution des brevets (à gauche) et des publications scientifiques (à droite) les plus cités pour les principales économies et régions



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les notes techniques).
Notes: Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

Part des régions infranationales les plus innovantes au sein de chaque pays

Tableau 2.2 Les trois zones administratives les plus importantes en termes de concentration de brevets et de publications scientifiques par période dans certains pays

Pays (niveau)	Brevets			Publications		
	1991-95	%	2011-15	2001-05	%	2011-15
Chine (provinces)	Beijing Guangdong Shanghai	42,3	Guangdong Beijing Jiangsu	Beijing Shanghai Jiangsu	45,5	Beijing Shanghai Jiangsu
Allemagne (États)	Baden-Wurtemberg Bayern Rhénanie du Nord-Westphalie	63,8	Bayern Baden-Wurtemberg Rhénanie du Nord-Westphalie	Bayern Rhénanie du Nord-Westphalie Baden-Wurtemberg	49,4	Rhénanie du Nord-Westphalie Baden-Wurtemberg Bayern
France (régions)	Île-de-France Auvergne-Rhône-Alpes Grand Est	64,1	Île-de-France Auvergne-Rhône-Alpes Occitanie	Île-de-France Auvergne-Rhône-Alpes Occitanie	63,1	Île-de-France Auvergne-Rhône-Alpes Occitanie
Royaume-Uni (comtés)	Grand Londres Hertfordshire Cambridgeshire	17,9	Grand Londres Cambridgeshire Oxfordshire	Grand Londres Cambridgeshire Oxfordshire	35,8	Grand Londres Oxfordshire Cambridgeshire
Inde (États)	Maharashtra Karnataka Telangana	51,6	Karnataka Maharashtra Telangana	Maharashtra Tamil Nadu TCN de Delhi	36,4	Tamil Nadu Maharashtra TCN de Delhi
Japon (préfectures)	Tokyo Kanagawa Osaka	51,5	Tokyo Kanagawa Osaka	Tokyo Osaka Ibaraki	35,8	Tokyo Osaka Aichi
États-Unis d'Amérique (États)	Californie New York Texas	30,8	Californie New York Texas	Californie New York Massachusetts	28,2	Californie Massachusetts New York

Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science*.
Notes: Les brevets et les publications scientifiques ont été attribués aux différentes régions en fonction des adresses géocodées des inventeurs et des affiliations des auteurs. Voir l'encadré 2.1 et les notes techniques. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

Encadré 2.2

Méthode permettant de mesurer les agglomérations locales produisant des innovations

Le présent rapport vise à offrir une mesure comparable à l'échelle internationale des agglomérations d'activités scientifiques et technologiques. Il s'appuie sur l'ensemble des brevets de portée internationale déposés entre 1976 et 2015, ainsi que sur toutes les publications scientifiques parues entre 1998 et 2017 pour recenser les principaux points de concentration géographique de l'innovation.

Ces agglomérations sont définies sur le plan structurel selon une méthode de recensement par groupes fondée sur des algorithmes d'évaluation de la densité, qui sont alimentés par des données de géographie économique⁵. En résumé, le rapport se fonde sur l'algorithme de recensement par groupes appelé DBSCAN (acronyme de *density-based spatial clustering of applications with noise*, ou regroupement spatial d'applications fondé sur la densité en présence de bruit), qui rassemble par "groupes" des données de brevets et de publications scientifiques sans tenir compte de leur géocodage. L'algorithme sépare ou rapproche les différents brevets et publications scientifiques selon une méthode fondée sur un polygone concave. Les polygones qui se chevauchent sont fusionnés de manière à ne conserver que les limites extérieures de toutes les agglomérations concernées. Les limites extérieures finales définissent des **pôles d'innovation généraux** (en anglais, *global innovation hotspots* ou GIH), plus simplement appelés des **pôles d'innovation**. Pour pouvoir connaître le domaine précis du contenu scientifique et technologique de ces pôles d'innovation, la méthode précitée est répétée pour 25 sous-échantillons d'une même publication ou d'un même brevet, qui sont établis au regard de 12 domaines scientifiques ou de 13 domaines technologiques, selon le cas⁶. Seuls les polygones résultant de ces 25 itérations qui ne relèvent pas d'un pôle d'innovation donné sont conservés. Parmi les polygones, ceux qui se chevauchent sont alors fusionnés de la même manière que pour les pôles. Les zones définies par les limites extérieures finales sont appelées **groupes de niche spécialisés** (en anglais, *specialized niche clusters* ou SNC) ou plus simplement **groupes de niche**.

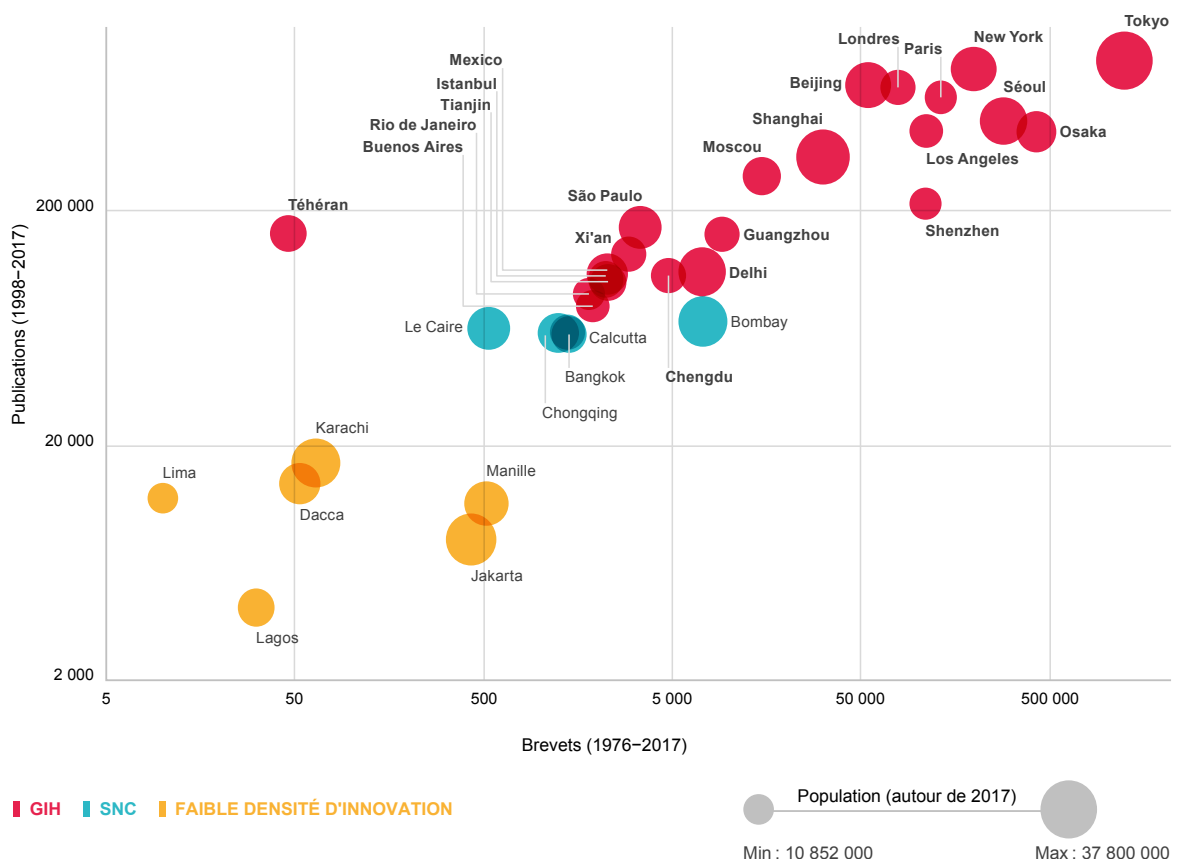
Par définition, les zones ainsi obtenues 1) sont **comparables à l'échelle internationale**, c'est-à-dire qu'une même densité de publications scientifiques ou de brevets (spécialisés) aurait déterminé le même pôle (ou groupe) n'importe où dans le monde; 2) peuvent présenter des **densités scientifiques et technologiques différentes**, c'est-à-dire que les pôles d'innovation et les groupes de niche peuvent être établis uniquement au regard d'une concentration élevée de publications scientifiques ou de brevets, mais pas nécessairement des deux; 3) présentent une **densité de spécialisation différente**, c'est-à-dire que les groupes de niche sont définis par rapport à des seuils de densité plus faibles que les pôles; 4) sont des **zones géographiques distinctes**, c'est-à-dire que les polygones ne se chevauchent pas au sein d'un pôle d'innovation ou d'un groupe de niche, ni entre plusieurs pôles d'innovation ou groupes de niche; et 5) ont des **limites non prédéfinies**, c'est-à-dire que les pôles d'innovation et les groupes de niche peuvent être de taille différente et recouvrir plusieurs villes, États/provinces ou pays.

Cette méthode a permis d'établir 174 pôles d'innovation généraux et 313 groupes de niche spécialisés dans le monde entier, qui représentent ensemble 85% de tous les brevets et 81% de tous les articles scientifiques et comptes rendus de conférences publiés dans le monde. La participation des groupes de niche est relativement faible. Bien entendu, ces données prennent aussi en compte les collaborations, c'est-à-dire les co-inventions et les copublications associant des partenaires situés à l'extérieur de ces zones à forte densité d'innovations.

Cependant, des difficultés de fond apparaissent – comme pour toutes les questions de géographie économique – lorsqu'il s'agit d'établir des comparaisons entre pays au regard d'éléments qui concernent des zones administratives infranationales. En effet, ces zones peuvent être très différentes en termes de taille, de population et de densité des activités innovantes, ce qui complique la comparaison. De plus, les limites administratives ne coïncident pas toujours avec les limites de l'agglomération ou du pôle d'innovation⁷. Une zone administrative donnée peut même recouvrir deux agglomérations ou plus, et une ou plusieurs agglomérations peuvent s'étendre sur plusieurs zones administratives, voire traverser des frontières.

La densité de la population ne garantit pas une forte densité d'innovation

Figure 2.3 Brevets et articles scientifiques dans les 35 villes les plus grandes du monde



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les encadrés 2.1 et 2.2) et de la liste des plus grandes villes du monde établie par *The City Mayors Foundation*. Figure fondée sur les 35 populations métropolitaines les plus nombreuses du monde selon *The City Mayors Foundation*. www.citymayors.com/statistics/largest-cities-population-125.html, septembre 2019.

Notes: La taille de chaque bulle correspond à la population de la zone métropolitaine correspondante (autour de 2017). L'échelle de l'axe est logarithmique. En raison du fait qu'elles produisent très peu de publications scientifiques ou de brevets, les villes de Kinshasa et Shijiazhuang ne figurent pas sur le graphique. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

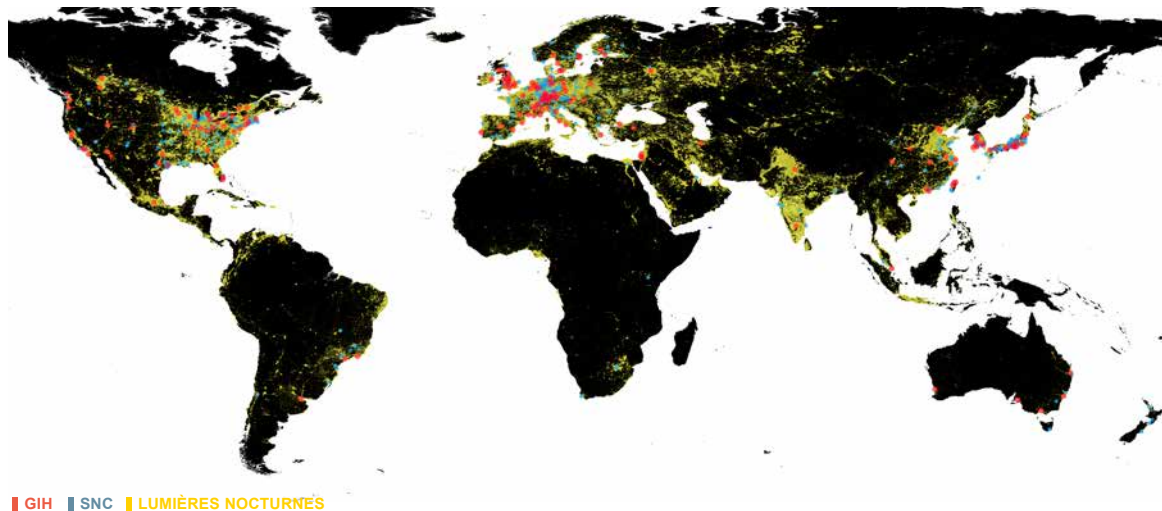
Ce problème, bien connu, est documenté dans de nombreuses analyses d'espaces; il est appelé problème d'agrégation spatiale (en anglais, *modifiable areal unit problem* ou MAUP) et entraîne des biais statistiques⁸. Sa solution passe par la création de zones *ad hoc* comparables qui puissent être employées à la place des zones administratives. On trouvera dans l'encadré 2.2 une explication détaillée de cette solution.

Les zones à forte densité d'innovation coïncident dans une large mesure avec les grandes zones urbaines cosmopolites et prospères de la planète. Comme nous l'avons souligné, l'innovation est encore plus concentrée que l'activité économique générale et la population. Ainsi, seules 22 des 35 zones métropolitaines les plus

peuplées de la planète font partie d'un pôle d'innovation général (figure 2.3). On observe une forte disparité entre certaines villes comme Beijing, Londres, Los Angeles, New York, Séoul et Tokyo, qui concentrent beaucoup de brevets et de publications scientifiques, et des villes comme Buenos Aires, Delhi, Istanbul, Mexico, Moscou, São Paulo et Téhéran, qui font partie de pôles d'innovation concentrant un volume raisonnable d'articles scientifiques (quoique beaucoup moins que les villes précitées) et produisant très peu de brevets. D'autres centres urbains très peuplés ne présentent une densité d'innovation suffisante que dans certains domaines scientifiques ou technologiques spécialisés. Tel est notamment le cas des groupes de niche observés à Bangkok, au Caire,

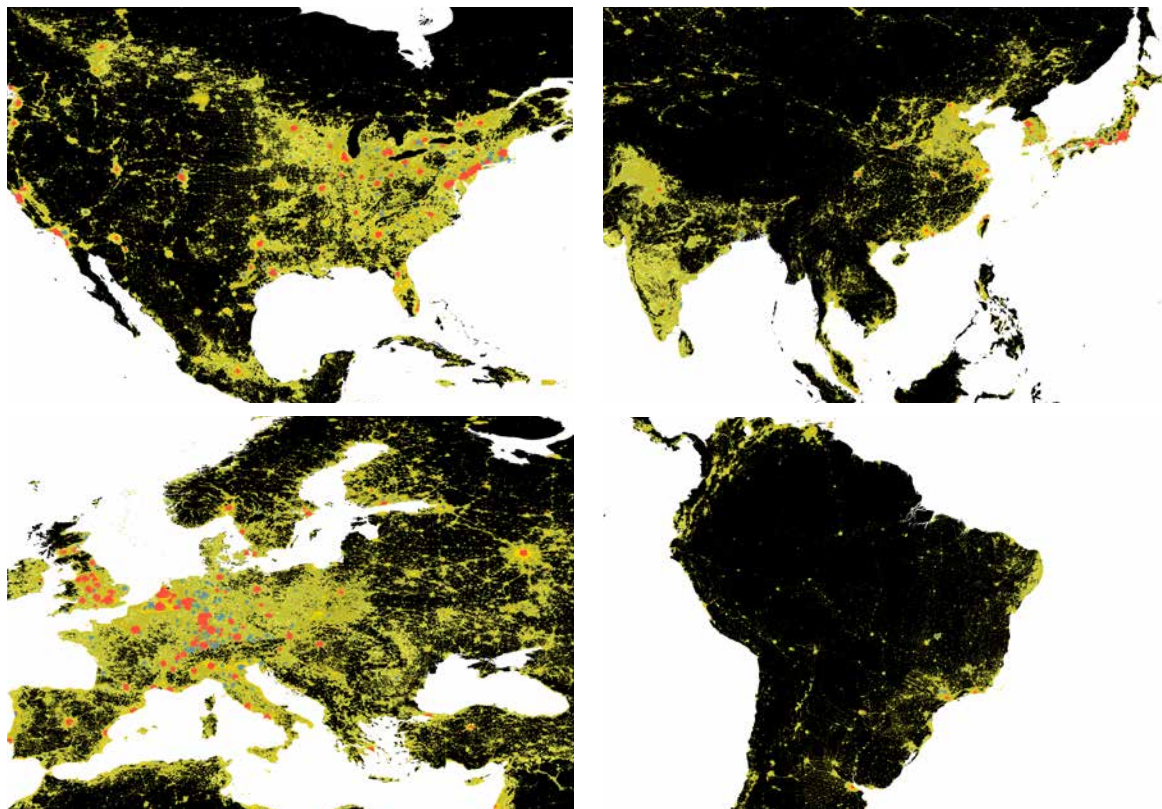
La densité d'innovation coïncide dans une large mesure avec la densité urbaine

Figure 2.4 Répartition mondiale de l'innovation (GIH et SNC) et lumières nocturnes relevées par le DMSP



L'Amérique du Nord, l'Europe occidentale et l'Asie orientale comptent le plus grand nombre de pôles d'innovation

Figure 2.5 Pôles d'innovation généraux et groupes de niche spécialisés, par région



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir encadrés 2.1 et 2.2). Les données sur les lumières nocturnes proviennent de relevés du *National Geophysical Data Center* (Centre national de données géophysiques) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Administration nationale des océans et de l'atmosphère ou NOAA) des États-Unis d'Amérique.
Note: DMSP = Programme de satellites météorologiques de la Défense.

à Calcutta et à Chongqing. Enfin, si elles concentrent l'essentiel de la production nationale d'innovations, plusieurs zones métropolitaines très peuplées comme Jakarta, Karachi ou Manille ne créent pas suffisamment d'innovations pour faire partie d'un pôle d'innovation ou d'un groupe de niche.

D'un autre côté, dans de nombreux pays à revenu élevé très novateurs, certaines zones urbaines moins peuplées peuvent présenter une forte densité d'innovations, en particulier dans certains domaines spécialisés. Ces groupes de niche (par exemple, Ithaca aux États-Unis d'Amérique, Stavanger en Norvège ou Berne en Suisse) sont très novateurs en raison de l'influence profonde que peuvent avoir sur l'innovation certaines universités, certains secteurs économiques particuliers ou parfois une entreprise jouant un rôle déterminant. Dans leurs domaines d'activités spécialisés, ces groupes de niche sont plus efficaces que certaines métropoles beaucoup plus peuplées qui présentent une densité d'innovation générale beaucoup plus élevée.

Les figures 2.4 et 2.5 permettent d'étendre cette comparaison à l'échelle mondiale; elles reposent sur la répartition des lumières nocturnes sur la planète, qui correspondent aux zones urbaines les plus peuplées⁹. Comme le montre la figure 2.4, les lumières nocturnes ne sont pas réparties de manière homogène dans le monde ou au sein d'un pays. L'innovation suit une structure d'agglomération analogue, mais elle est encore plus concentrée sur le plan géographique. Ces agglomérations ou pôles (qui par définition sont plus denses en termes de création de savoirs scientifiques ou de brevets) coïncident généralement avec les zones les plus brillantes (concentration de lumières nocturnes) de la planète. Les groupes de niche coïncident aussi avec les zones brillantes, mais comme ils sont plus spécialisés, ils peuvent se trouver dans des zones urbaines moins denses.

L'Europe – et notamment sa partie occidentale – présente la répartition territoriale de lumières nocturnes la plus homogène; et de fait, sans surprise, elle regroupe plus d'un tiers de tous les pôles d'innovation généraux et des groupes de niche spécialisés de la planète. Toutefois, plusieurs zones illuminées ne sont pas encore des centres d'innovation. En Europe, l'Allemagne, le Royaume-Uni et la France comptent le plus grand nombre de centres d'innovation, mais même ces pays présentent plusieurs zones urbaines à forte densité de population qui n'ont pas la

densité de création de publications scientifiques ou de brevets correspondante.

L'Amérique du Nord accueille plus d'un quart des pôles d'innovation et des groupes de niche, surtout dans des zones urbaines fortement peuplées le long des côtes Est et Ouest. La plupart des grandes villes au centre et au Sud du pays ont également des centres d'innovation, mais beaucoup de zones à population dense (en particulier dans les États du centre et du Sud des États-Unis d'Amérique) n'innovent pas suffisamment pour constituer un pôle d'innovation général ou un groupe de niche.

L'Asie compte un peu plus du quart du nombre total de pôles d'innovation et de groupes de niche. Le Japon, la Chine, la République de Corée et l'Inde détiennent la majeure partie des centres d'innovation du continent. Au Japon, et dans une certaine mesure en République de Corée, on observe une forte corrélation entre les lumières nocturnes et les centres d'innovation. En revanche, malgré leurs nombreux centres d'innovation, la Chine et l'Inde présentent encore beaucoup de zones à forte densité de population qui n'ont pas la densité d'innovation correspondante.

Sur les grands territoires continentaux de l'Océanie, de l'Amérique latine et de l'Afrique, de vastes régions sont dépourvues de villes majeures. En Océanie, l'Australie présente une corrélation élevée entre les zones urbaines denses et les zones à forte densité d'innovation, et presque toutes les zones illuminées de nuit disposent d'un pôle d'innovation général ou d'un groupe de niche correspondant. Inversement, les zones urbaines denses d'Afrique et d'Amérique latine ne présentent presque jamais la densité d'innovation correspondante.

Comme le montre le tableau 2.3, les activités orientées vers les inventions et la science sont très mal réparties entre les différents emplacements à tous les niveaux de densité d'innovation. Les 174 pôles représentent les zones à plus forte densité d'innovation dans le monde; pourtant, un petit nombre de ces zones (souvent situées dans des pays à revenu élevé ou moyen) produisent systématiquement la majeure partie des savoirs scientifiques et technologiques créés au sein des pôles d'innovation généraux.

Près de 70% des brevets et environ 50% des articles scientifiques produits dans le monde proviennent d'à peine 30 pôles situés dans 16 pays.

La majeure partie des activités liées à l'innovation et à la science sont concentrées dans un petit nombre d'emplacements

Tableau 2.3 Concentration des dépôts de brevet et des publications parmi des GIH et des pays à plus faible densité d'innovation, 1998-2017

Les 30 premiers pôles (en pourcentage de tous les GIH du monde)		
Pôles d'innovation (%)	30	(17,2%)
Pays (%)	16	(47,1%)
Brevets (%)	3 234 850	(69,2%)
Articles scientifiques (%)	10 987 971	(47,8%)
Les 30 premières agglomérations des pays à faible densité d'innovation		
Agglomérations (%)	30	(5,0%)
Pays (%)	24	(14,4%)
Brevets (%)	11 491	(64,1%)
Articles scientifiques (%)	484 689	(61,0%)

Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir encadrés 2.1 et 2.2).

Notes: Seules les données allant de 1998 à 2017 ont été communiquées. Les 30 premières places ont été calculées séparément pour les brevets et les publications. Les 30 premières agglomérations des pays à faible densité d'innovation ont été établies selon la méthode employée pour déterminer les GIH (voir encadré 2.2). Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

On observe très peu d'activités orientées vers les inventions et la science en dehors des pôles d'innovation et des groupes de niche, et encore moins en dehors des quelques pays accueillant ces pôles et groupes. De fait, plus de 160 pays ne disposent d'aucun pôle d'innovation et d'aucun groupe de niche. Même dans les zones où l'innovation est moins dense, la majeure partie des savoirs sont produits dans un petit nombre de zones urbaines très peuplées. Dans les pays à faible densité d'innovation, quelque 64% des brevets et 61% des articles scientifiques sont produits dans à peine 30 agglomérations réparties entre 24 pays seulement (tableau 2.3). Malgré cette concentration dans un petit nombre d'agglomérations, l'écart avec les plus grands pôles du monde est considérable. Le volume de brevets et de publications scientifiques des 30 premières agglomérations dans les pays à faible densité d'innovation ne représente respectivement que 0,4% et 4% de celui des 30 premiers pôles du monde. Toutefois, même au sein des zones à forte densité

d'innovation, on observe des différences marquées à l'échelle nationale. Le tableau 2.4 présente les trois premières concentrations de pôles d'innovation et de groupes de niche pour certains pays au cours de deux périodes différentes, ainsi que le pourcentage de dépôts de brevet et de publications scientifiques dans ces pays. Premièrement, la liste des trois zones d'innovation les plus denses varie très peu dans le temps et entre les brevets et les publications scientifiques, ce qui atteste de la stabilité du phénomène de concentration. Deuxièmement, dans tous les pays mentionnés, la part cumulée de ces trois zones est extrêmement élevée, allant d'environ 20% jusqu'à plus de 80%. Enfin, dans la majorité des pays, la part des trois premiers pôles en termes de dépôts de brevet reste très stable ou augmente, ce qui montre qu'au sein de chaque pays, les activités d'invention se dispersent peu sur le plan géographique, et que parfois même elles se reconcentrent. L'Allemagne et dans une moindre mesure la France font exception : leurs trois premiers pôles concentrent moins d'activités d'invention qu'il y a 20 ans.

Dans l'ensemble, la concentration de publications scientifiques est aussi restée relativement stable à des taux élevés. Parmi les pays choisis, seules la Chine et dans une moindre mesure l'Inde ont montré une certaine tendance à la dispersion. Toutefois, leurs trois pôles principaux continuent de représenter respectivement au moins un quart et un tiers de toutes les publications scientifiques nationales. Si l'on compare les publications et les brevets, il est intéressant de constater (tableau 2.4) que dans certains pays, les publications sont plus concentrées que les brevets (ce qui n'est pas la tendance générale). Tel est le cas au Royaume-Uni et dans une moindre mesure en France. Dans ces deux pays, la capitale est un centre mondial de production scientifique qui représente le premier pôle d'innovation du pays.

2.2 Réseaux mondiaux de collaboration et d'approvisionnement

À quel point la collaboration s'est-elle mondialisée?

La production de savoirs scientifiques et technologiques est de plus en plus collaborative. Dès 1998, la majeure partie des articles scientifiques étaient écrits par des équipes. En 2017, le nombre de scientifiques

L'innovation reste concentrée dans un petit nombre de pôles

Tableau 2.4 Les trois premières concentrations de GIH (brevets et publications) dans certains pays

Pays	Brevets		Publications					
	1991-95	%	2011-15	%				
Chine	Beijing Shanghai Shenzhen-Hong Kong	36,5	Shenzhen-Hong Kong Beijing Shanghai	52,2	Beijing Shanghai Nanjing	43,9	Beijing Shanghai Nanjing	35,8
Allemagne	Francfort Cologne-Düsseldorf Stuttgart	37,4	Francfort Stuttgart Cologne-Düsseldorf	29,4	Francfort Cologne Berlin	34,4	Francfort Cologne Berlin	34,2
France	Paris Lyon Grenoble	47,1	Paris Grenoble Lyon	42,8	Paris Lyon Grenoble	51,0	Paris Lyon Toulouse	49,4
Royaume-Uni	Londres Manchester Cambridge	30,0	Londres Cambridge Oxford	35,0	Londres Cambridge Oxford	39,8	Londres Oxford Cambridge	41,8
Inde	Bangalore Mumbai Delhi	41,9	Bangalore Hyderabad Delhi	46,2	Delhi Mumbai Bangalore	27,7	Delhi Mumbai Calcutta	24,6
Japon	Tokyo Osaka Nagoya	80,5	Tokyo Osaka Nagoya	83,4	Tokyo Osaka Nagoya	64,3	Tokyo Osaka Nagoya	64,8
États-Unis d'Amérique	New York San Jose-San Francisco Boston	19,4	San Jose-San Francisco New York Boston	23,4	New York Washington DC-Baltimore Boston	21,2	Boston New York Washington DC-Baltimore	21,4

Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les encadrés 2.1 et 2.2).

Notes: Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

travaillant seuls s'était réduit de moitié par rapport à 20 ans plus tôt. En outre, la taille des équipes tend à augmenter. En 2017, il fallait presque deux chercheurs de plus (en moyenne) pour écrire un article scientifique courant que 20 ans auparavant (voir figure 2.6). De plus, la taille moyenne des équipes a augmenté dans tous les domaines, et les équipes qui produisent les savoirs scientifiques comptent désormais le plus souvent six personnes au moins.

Les équipes qui travaillent en collaboration pour parvenir à des innovations technologiques (brevets) sont plus petites mais suivent une tendance analogue, leur taille moyenne ayant doublé depuis le début des années 1970. Au milieu des années 2010, deux tiers des inventions étaient le fruit de travaux collaboratifs. Toutes les tailles d'équipe sont en augmentation, au détriment des brevets déposés par un seul inventeur.

Les équipes sont aussi de plus en plus internationales. Comme nous l'avons vu au chapitre premier, les forces qui poussent les universités et les entreprises à rechercher des partenaires au-delà des frontières sont très diverses. La communauté scientifique a une longue tradition de travailler en collaboration à l'échelle internationale. Les entreprises multinationales cherchent également à gagner en efficacité en s'appuyant sur la division internationale de la R-D

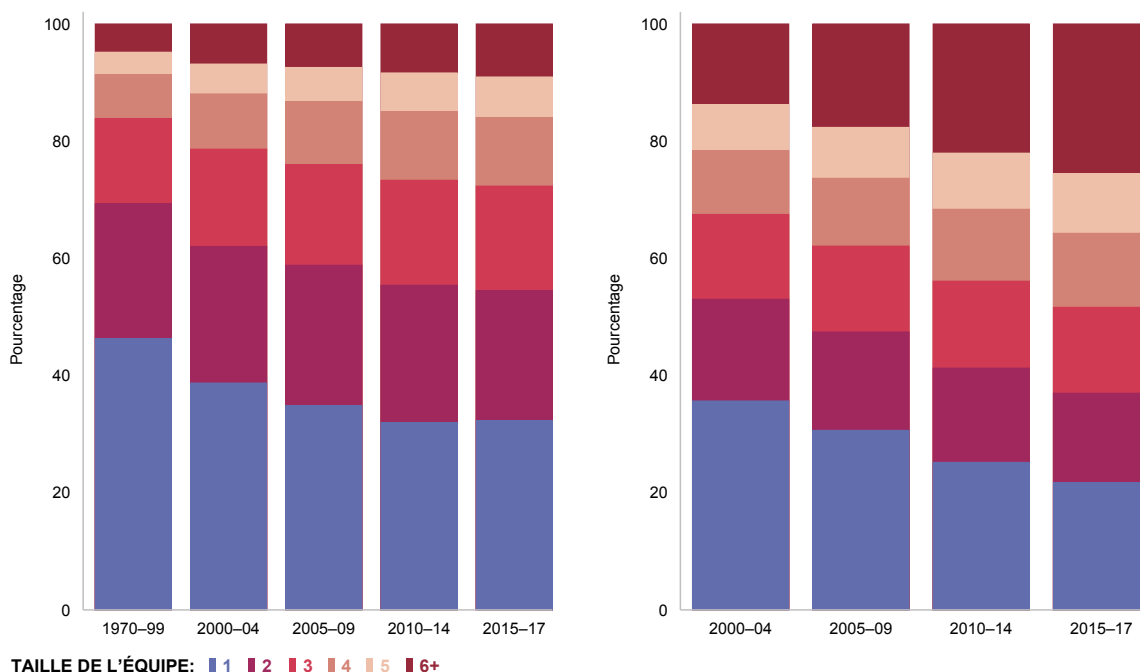
ainsi que sur la collaboration internationale. Elles peuvent par exemple établir une collaboration avec des équipes de R-D situées dans d'autres pays pour i) adapter des technologies à différents besoins selon le marché; ii) avoir accès à un réservoir de talents particuliers; ou iii) simplement réduire les coûts de recherche¹⁰.

La collaboration destinée à la production scientifique (publications), par opposition à la production technologique, nécessite de plus en plus souvent des équipes issues d'organisations situées dans au moins deux pays différents (figure 2.7). En seulement deux décennies, la proportion de collaborations scientifiques internationales a presque augmenté de moitié, passant de 17% à 25% pour les publications d'articles scientifiques. En revanche, les inventions résultant d'une collaboration internationale constituent un phénomène beaucoup moins fréquent. Quant à la production de brevets en collaboration internationale, malgré des proportions plus faibles, elle a affiché une croissance spectaculaire jusqu'à la seconde moitié des années 2000: elle a plus que doublé au cours de cette période, passant de 5% à près de 11%. Depuis 2010, cette proportion a légèrement baissé¹¹.

Le fait que les équipes internationales produisent une plus forte proportion d'articles scientifiques que de brevets indique une fois de plus que la production

Progression de l'innovation collaborative

Figure 2.6 Taille des équipes d'inventeurs (à gauche) et de scientifiques (à droite), par période



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir l'encadré 2.1).
Notes: Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

scientifique est plus internationalisée que la production technologique. La figure 2.8 présente des données distinguant pays par pays, pour les pays les plus innovants du monde, les équipes internationales qui travaillent sur des inventions de celles qui travaillent sur des thèmes scientifiques. À l'exception du Japon, et dans une moindre mesure de la République de Corée, la plupart des pays qui déposent le plus de demandes de brevet présentent une forte proportion de coinvention internationale. Les États-Unis d'Amérique et les pays d'Europe occidentale affichent principalement une tendance croissante dans ce domaine. Les économies de plus petite taille ayant des zones urbaines denses, actives en matière d'innovation et intégrées dans des réseaux internationaux, par exemple la Suisse, sont très favorables à l'établissement de collaborations internationales. L'Inde a également un taux élevé de coinventions internationales. Dans les grandes économies de l'Asie orientale, les choses sont différentes. Avant les années 2000, la part des coinventions internationales en Chine était extraordinairement élevée, mais le volume était faible. Par la suite, lorsque le volume de dépôts de brevet chinois a augmenté, la part des coinventions internationales s'est considérablement

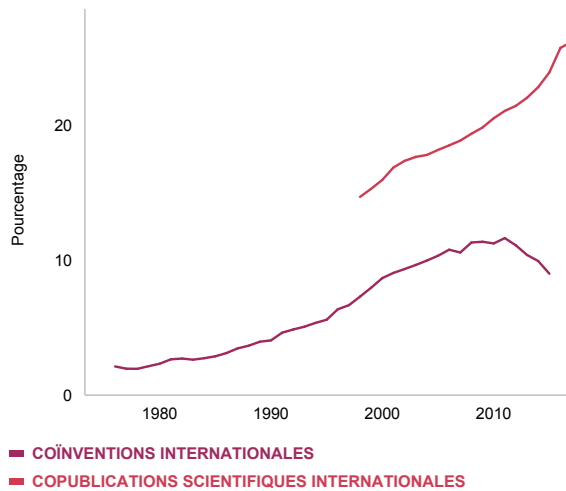
réduite pour devenir comparable à celle du Japon et de la République de Corée, qui sont très faibles.

Les tendances concernant la copublication internationale montrent une image très différente. Tous les principaux pays publiant des articles scientifiques ont une proportion de copublication internationale plus élevée que leur part de coinvention internationale, à l'exception de l'Inde. De plus, ces proportions ont augmenté régulièrement au cours de la période considérée. Cependant, les chiffres montrent que les pays d'Asie orientale sont également moins ouverts à l'échelle mondiale que les États-Unis d'Amérique et l'Europe occidentale dans le domaine de la publication scientifique.

La collaboration internationale est également concentrée entre quelques pays principaux; toutefois, cette concentration se réduit à mesure que de nouveaux acteurs entrent dans le réseau (figure 2.9). La copublication scientifique intervenant strictement entre les États-Unis d'Amérique, l'Europe occidentale et le Japon représentait 54% de toutes les publications collectives internationales en 1998-2002, contre 42% en 2011-2015. Les coinventions effectuées entre ces

La collaboration en matière d'innovation est de plus en plus internationale

Figure 2.7 Coïventions et copublications internationales, en pourcentage



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir l'encadré 2.1).

Notes: Les coïventions internationales correspondent à la proportion de brevets ayant plusieurs inventeurs situés dans au moins deux pays différents. Les copublications internationales correspondent à la proportion d'articles scientifiques dont les auteurs ont plusieurs affiliations dans au moins deux pays différents. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

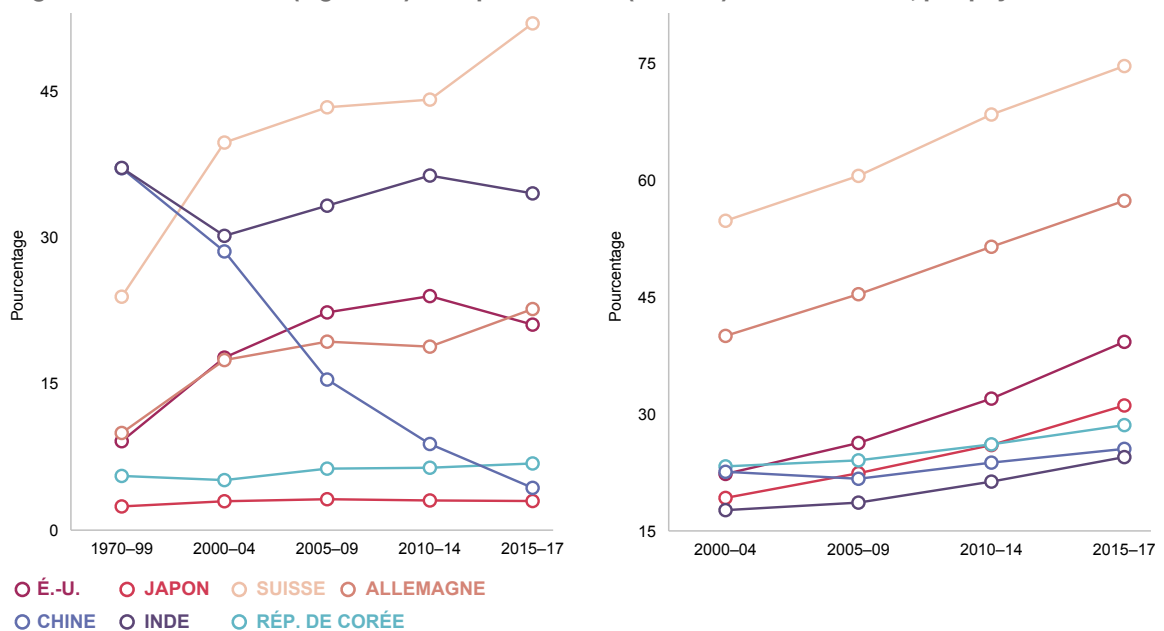
trois régions représentaient 69% de toutes les coïventions internationales en 1998-2002, mais seulement 49% en 2011-2015.

Ces trois régions sont aussi présentes dans la plupart des collaborations établies avec d'autres économies (figure 2.9). Si la collaboration au sein de l'Europe occupe une place croissante, les États-Unis d'Amérique restent le principal partenaire de la plupart des pays européens. Le Canada et les États-Unis d'Amérique constituent l'un des réseaux de collaboration internationale les plus robustes dans toutes les périodes, sans doute en raison de leur proximité géographique et culturelle. La plupart des autres liens établis par le Canada visent l'Europe occidentale, quoique ce pays ait aussi quelques connexions avec d'autres économies. Les nouveaux venus dans ces réseaux, notamment la Chine, l'Inde, l'Australie ou le Brésil, sont surtout liés à ces trois régions, le plus souvent aux États-Unis d'Amérique et à quelques pays d'Europe occidentale, en particulier le Royaume-Uni et l'Allemagne.

La collaboration entre des pays et économies qui ne font pas partie du triangle des États-Unis d'Amérique, de l'Europe occidentale et du Japon est beaucoup plus rare. Les coïventions internationales qui ne font

Les grandes économies sont très internationalisées

Figure 2.8 Coïventions (à gauche) et copublications (à droite) internationales, par pays



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir l'encadré 2.1).

Notes: Les coïventions internationales correspondent à la proportion de brevets ayant plusieurs inventeurs situés dans au moins deux pays différents. Les copublications internationales correspondent à la proportion d'articles scientifiques dont les auteurs ont plusieurs affiliations dans au moins deux pays différents. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

Concentration et dispersion des collaborations internationales

Figure 2.9 Coïventions (à gauche) et copublications (à droite) internationales par paires de pays, 1998-2002 et 2011-2015

Coïventions internationales par paires de pays, 1998-2002



Coïventions internationales par paires de pays, 2011-2015



— 2000 ■ 5000

Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir l'encadré 2.1).

Notes: Les coïventions internationales correspondent à la proportion de brevets ayant plusieurs inventeurs situés dans au moins deux pays différents. Les copublications internationales correspondent à la proportion d'articles scientifiques dont les auteurs ont plusieurs affiliations dans au moins deux pays différents. Seuls les 10% les plus élevés des liens internationaux sont pris en compte pour chaque période. Les bulles n'indiquent la proportion de liens que pour certains pays et régions. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

Copublications internationales par paires de pays, 1998-2002



Copublications internationales par paires de pays, 2011-2015



— 10 000 ■ 40 000

pas intervenir ce triangle ne représentaient que 2% de toutes les co-inventions internationales en 1998-2002, et 7% en 2011-2015. Le sous-réseau des publications scientifiques est un peu plus important : il représentait 5% en 1998-2002 et a atteint 13% de tous les liens internationaux en 2011-2015. En-dehors de ce triangle, quelques grandes économies comme la Chine, l'Inde, Singapour et, dans une moindre mesure, l'Afrique du Sud, l'Argentine, l'Australie, le Brésil et le Mexique ont accru leur participation au sous-réseau, surtout pour les copublications scientifiques. Toutefois, leurs liens passent le plus souvent encore par l'un des trois grands, en particulier les États-Unis d'Amérique et l'Europe, plutôt que par un pays plus marginal.

Dans l'ensemble, les tendances en matière de collaboration semblent indiquer que la mondialisation des activités d'invention concerne surtout les États-Unis d'Amérique et l'Europe occidentale, ainsi que la Chine et l'Inde.

Les multinationales recherchent l'innovation toujours plus loin

Depuis la fin des années 1990, comme nous l'avons indiqué au chapitre premier, les entreprises multinationales ont entrepris de sous-traiter leurs activités de R-D vers des économies en développement à revenu moyen telles que la Chine, l'Inde et certains pays d'Europe orientale¹². Si elles n'avaient initialement pour but que d'adapter leurs technologies aux besoins des marchés locaux, elles ont lentement évolué vers des activités de R-D de pointe, comparables à celles qu'elles menaient dans les économies à revenu élevé, pour mettre au point de nouveaux produits destinés aux marchés du monde entier¹³. Le dynamisme de certains pays à revenu moyen a considérablement contribué à attirer les IED destinés à la R-D, notamment en Inde et en Chine.

La R-D sous-traitée par les États-Unis d'Amérique a augmenté d'un facteur supérieur à cinq au cours des 25 dernières années, la majeure partie de ces investissements destinés à l'innovation étant dirigée vers l'Allemagne, le Royaume-Uni, le Japon, le Canada ou la France¹⁴. En matière de brevets, la tendance des entreprises de ce pays à travailler avec des inventeurs étrangers a suivi une évolution très semblable (figure 2.10). Dans les années 1970 et 1980, 9% seulement des demandes de brevet déposées par des entreprises des États-Unis d'Amérique comptaient des inventeurs

étrangers; dans les années 2010, cette proportion est passée à 38%. La sous-traitance technologique vers le Canada, le Japon et l'Europe orientale a continué d'augmenter jusqu'au début des années 2000, avant de se tasser. Depuis lors, l'accroissement de la sous-traitance des États-Unis d'Amérique en matière d'innovation a essentiellement visé d'autres pays, notamment la Chine, l'Inde et dans une moindre mesure Israël. La stratégie de diversification des savoirs menée par les États-Unis d'Amérique repose donc essentiellement sur une expansion vers des pays à revenu moyen ou faible.

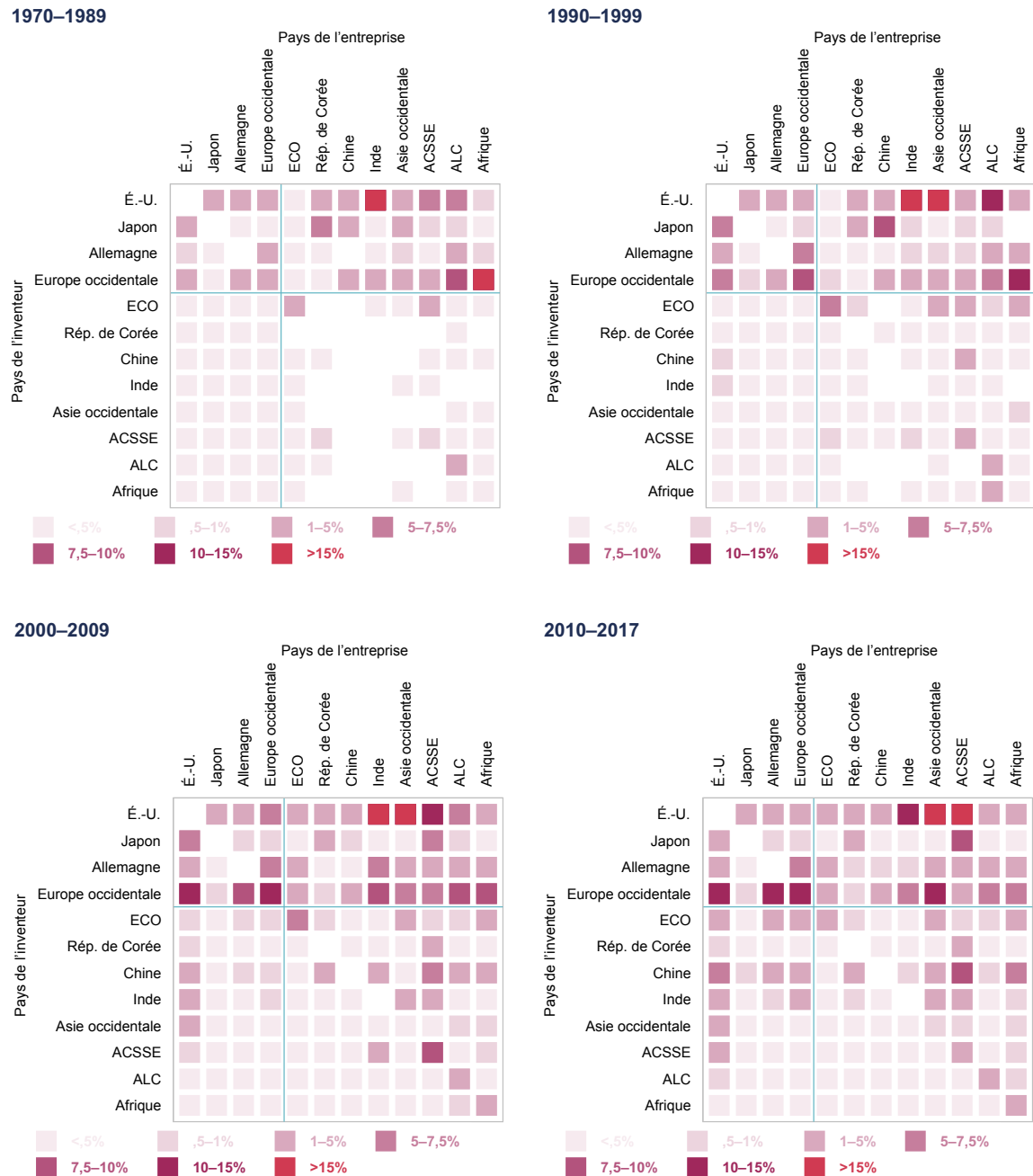
Les entreprises des États-Unis d'Amérique n'ont pas été les seules à internationaliser la R-D, quoique aucune autre grande économie n'ait été aussi ouverte à ce type de collaboration (figure 2.10). Les grandes économies d'Europe occidentale (en particulier l'Allemagne, la France et le Royaume-Uni) viennent en deuxième position après les États-Unis d'Amérique, tandis que les entreprises des grands pays d'Asie orientale (c'est-à-dire le Japon, la République de Corée et la Chine) se sont beaucoup moins internationalisées.

Les entreprises du monde entier ont manifestement tendance à accroître et élargir les activités qu'elles mènent avec des inventeurs étrangers en vue de déposer des brevets. Toutefois, comme nous l'avons vu, la majeure partie de la sous-traitance internationale en matière de brevets continue de se diriger vers des entreprises et des inventeurs situés dans des économies à revenu élevé, notamment lorsque cette sous-traitance est mise en place par les États-Unis d'Amérique, le Japon et l'Europe occidentale. Parmi ceux-ci, c'est le Japon qui a les entreprises les moins orientées vers les activités à l'étranger, tandis que les entreprises des États-Unis d'Amérique s'appuient dans une très large mesure sur des inventeurs japonais.

Au cours des deux dernières décennies, la Chine et la République de Corée se sont efforcées de se joindre à ce groupe sélectif. Elles présentent incontestablement le volume requis de dépôts de brevet, tant par des entreprises locales que par des inventeurs travaillant avec des entreprises étrangères. Les entreprises de la République de Corée ont davantage recours à des inventeurs japonais ou états-uniens que dans le sens inverse. Les entreprises chinoises se sont considérablement appuyées sur des inventeurs japonais au cours des années 1990, mais depuis les années 2000 elles se sont progressivement recentrées sur des chercheurs chinois.

En matière d'innovation, les bénéficiaires de la sous-traitance forment un club très sélectif

Figure 2.10 Demandes de brevet déposées par des entreprises dont les inventeurs sont situés dans un pays différent (%), pour certaines régions



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT et le PCT (voir les notes techniques).

Notes: ECO = Europe centrale et orientale; ALC = Amérique latine et Caraïbes; ACSSE = Asie centrale, du Sud et du Sud-Est (sauf Inde). Ces régions ressemblent beaucoup aux régions géographiques définies selon la méthode de la Division de statistique de l'ONU (unstats.un.org, site consulté en mars 2019). Les seules différences tiennent au fait que le groupe ECO comprend tous les pays de l'Europe du Nord et du Sud qui ne font pas partie de l'Europe occidentale selon la Division de statistique, et que le groupe ACSSE comprend la Mongolie. Le groupe des autres pays d'Europe occidentale ne comprend pas l'Allemagne. L'Europe occidentale comprend les 15 économies qui faisaient partie de l'UE avant le 1^{er} mai 2004 ainsi qu'Andorre, l'Islande, le Liechtenstein, Malte, Monaco, la Norvège, Saint-Marin et la Suisse. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

Actuellement, les entreprises chinoises ne sont que légèrement plus ouvertes aux inventeurs internationaux que les entreprises japonaises.

Si les entreprises multinationales ont eu de plus en plus tendance, ces dernières années, à sous-traiter leur R-D auprès de pays en développement à revenu moyen, les entreprises de ces pays continuent de recourir à l'innovation des économies à revenu élevé bien plus souvent que l'inverse. Les entreprises situées en Inde, en Asie, en Europe centrale et orientale, en Amérique latine et en Afrique s'appuient beaucoup sur l'ingénierie des inventeurs des États-Unis d'Amérique, de l'Europe occidentale, de la Chine et dans une moindre mesure du Japon et de la République de Corée pour créer des technologies que ces entreprises pourront breveter. Rappelons néanmoins que les entreprises de ces pays ont un faible volume de demandes de brevet par rapport aux entreprises des États-Unis d'Amérique, de l'Europe occidentale, du Japon, de la Chine et de la République de Corée. Enfin, les entreprises et les inventeurs des pays à revenu moyen ou faible ont aussi une activité directe beaucoup plus faible en matière de dépôt de brevet.

La collaboration s'établit aussi, dans une certaine mesure, à l'échelle régionale. Toutefois, elle suit également les tendances décrites plus haut. Il y a davantage de sous-traitance des entreprises mexicaines vers les inventeurs situés aux États-Unis d'Amérique et au Canada qu'en sens inverse. Il en va de même pour l'Allemagne, la France et le Royaume-Uni en Europe, notamment à l'égard de l'Europe centrale et orientale. Les entreprises situées dans toute l'Asie sous-traitent davantage auprès des inventeurs du Japon, de la République de Corée, de la Chine et dans une certaine mesure de l'Inde que le contraire. Dans une moindre mesure, les inventeurs du Brésil et de l'Afrique du Sud semblent être des sous-traitants régionaux des entreprises situées en Amérique latine et en Afrique. Cependant, les entreprises situées dans des économies à revenu moyen ou faible en Asie, en Amérique latine ou en Afrique ont surtout des interactions avec des inventeurs situés en dehors de leur continent respectif, le plus souvent aux États-Unis d'Amérique et en Europe occidentale.

2.3 Innovation locale et réseaux mondiaux de pôles d'innovation

La mondialisation des agglomérations

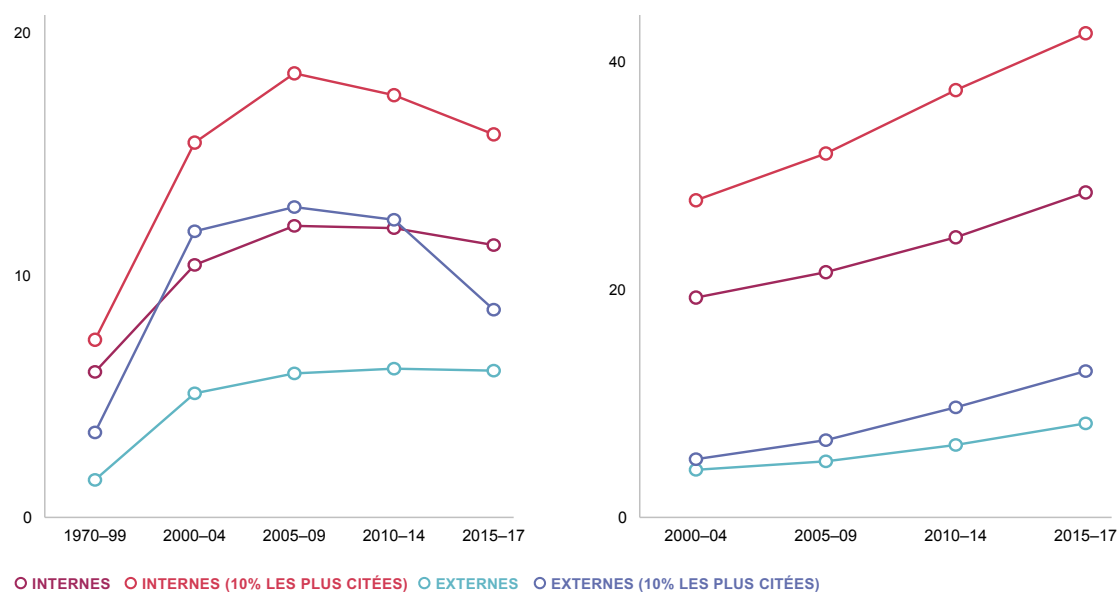
Non seulement les pôles d'innovation et les groupes de niche concentrent une proportion plus importante de publications scientifiques et de dépôts de brevet, mais ils entretiennent en outre une collaboration plus active à l'échelle internationale (figure 2.11). La différence est encore plus marquée pour les brevets et les articles scientifiques les plus cités. Parmi les articles scientifiques produits au sein des zones à forte innovation, la proportion de ceux qui sont rédigés dans le cadre d'une collaboration internationale est passée de 19 à 29% au cours des deux dernières décennies, et parmi ceux-ci, la proportion des articles les plus cités est passée de 28 à 43%.

On observe le même écart entre les co-inventions créées à l'intérieur et à l'extérieur des pôles d'innovation et des groupes de niche. Au cours de la seconde moitié des années 2010, 11% des inventions créées par des pôles d'innovation et des groupes de niche ont bénéficié de partenaires internationaux (et cette proportion atteint près de 16% dans le cas des brevets les plus cités), tandis que 6% seulement des brevets déposés en-dehors des pôles d'innovation et des groupes de niche comptaient un co-inventeur international. Toutefois, rien ne prouve que cet écart est en train de se creuser. De fait, les co-inventions internationales créées au sein comme en-dehors des agglomérations affichent une stagnation analogue, voire dans une certaine mesure une tendance à la baisse depuis la seconde moitié des années 2000. Cette tendance est probablement liée à un ralentissement plus général de la mondialisation (voir plus loin).

La figure 2.12 révèle plusieurs tendances intéressantes. Comme nous l'avons indiqué au point 2.2, la proportion d'articles scientifiques et d'inventions qui sont produits dans ces agglomérations à forte innovation mais qui ne s'appuient sur aucune collaboration locale, nationale ou internationale a baissé. Les inventions dues à un seul inventeur, qui représentaient un tiers de toutes les inventions dans les années 1970 et 1980, en constituaient moins d'un quart en 2017. Les publications scientifiques écrites par un seul auteur sont passées de 40% au début des années 2000 à moins de 25% dans la seconde moitié des années 2010. Plus les pôles

L'innovation intervenant au sein des pôles a plus de chances d'être internationale

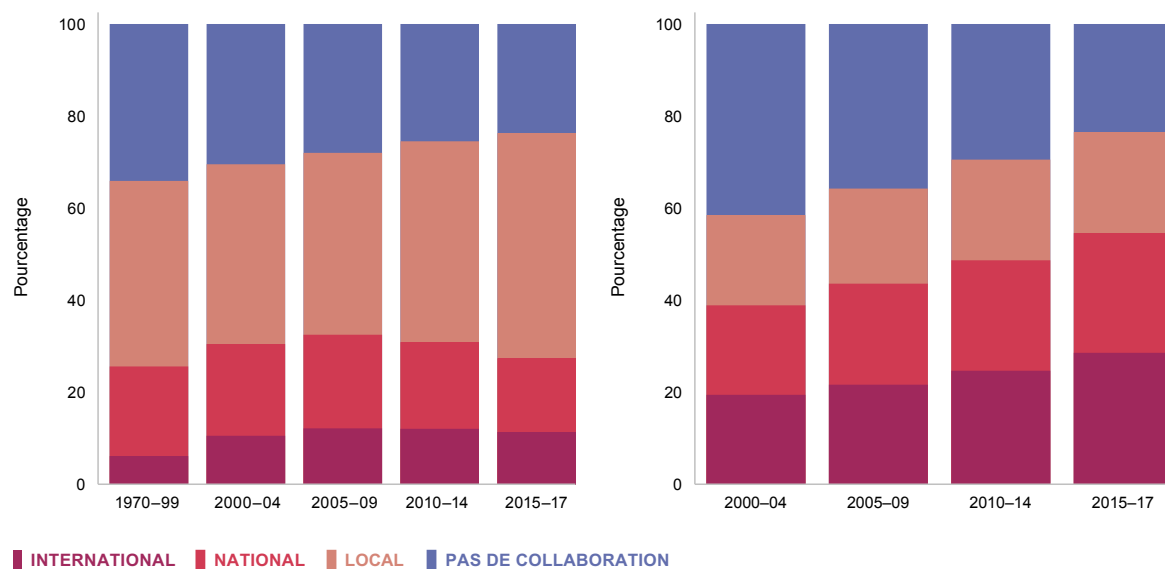
Figure 2.11 Pourcentage d'équipes internationales déposant des brevets (à gauche) et publiant des articles (à droite), internes et externes aux GIH et aux SNC



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les encadrés 2.1 et 2.2).
Notes: Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

Dispersion des publications scientifiques, reconcentration des dépôts de brevet

Figure 2.12 Part des GIH et des SNC dans les interactions en matière de coïvention (à gauche) et de copublication (à droite), par emplacement des partenaires



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les encadrés 2.1 et 2.2).
Notes: Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

d'innovation et les groupes de niche collaborent entre eux, plus le réseau de savoirs qu'ils créent se densifie.

L'image est cependant différente à d'autres égards, selon qu'il s'agit d'inventions ou d'articles scientifiques. En ce qui concerne les brevets, la proportion d'équipes exclusivement locales est plus importante que celle des équipes nationales ou internationales, alors que la situation est différente pour les publications scientifiques. Néanmoins, dans ce dernier domaine la copublication internationale continue de croître toujours plus vite que la copublication issue de collaborations nationales et locales. On observe la même tendance pour les brevets entre le début des années 1980 et la seconde moitié des années 2000¹⁵.

Depuis environ 2005, la part des brevets exclusivement locaux a toutefois recommencé à augmenter. Cette évolution coïncide avec un ralentissement du rythme de la mondialisation et de l'internationalisation d'un point de vue général, comme en atteste le ralentissement de la croissance des échanges commerciaux, des flux d'IED et de l'intégration financière. Elle coïncide aussi avec une baisse de la proportion de brevets produits par des équipes d'envergure nationale, par opposition aux équipes strictement locales. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que le ralentissement de la mondialisation de la création de savoirs et d'innovations pourrait être dû en partie à l'essor des pôles d'innovation locaux et non au développement de nouveaux systèmes d'innovation nationaux. Comme nous allons le montrer, cette tendance est plus marquée dans certains pays d'Asie.

La situation varie aussi considérablement d'un pays à l'autre, comme l'illustre la figure 2.13, qui étend l'analyse présentée dans la figure 2.12 en présentant le détail des pôles d'innovation et des groupes de niche dans quelques-uns des pays les plus innovants. En matière de publications scientifiques, les tendances propres à chaque pays suivent pour l'essentiel les observations présentées dans la figure 2.12; au demeurant, presque tous les pays affichent des tendances analogues et une augmentation de la collaboration. On observe toutefois un certain nombre de différences. Aux États-Unis d'Amérique, au Japon, en Allemagne et en Suisse, la part croissante de copublications internationales est le principal facteur expliquant la baisse de la recherche scientifique non collaborative dans ces pays. La Chine, l'Inde et dans une certaine mesure la République de Corée ont enregistré une croissance moins dynamique de la collaboration scientifique internationale. Dans

ces pays, la baisse de la proportion de publications scientifiques non collaboratives traduit surtout une augmentation de la collaboration nationale et locale.

Comme pour les multinationales évoquées plus haut, les tendances en matière de co-inventions destinées à être brevetées varient considérablement d'un pays à l'autre. Certains pays, comme l'Inde ou la Suisse, peuvent être extraordinairement ouverts aux co-inventions internationales; à l'opposé se trouvent la République de Corée, le Japon et plus récemment la Chine. On observe une chute marquée de la proportion d'équipes internationales dans la production de brevets de certains pays, notamment la Chine, qui s'explique, dans le cas de ce pays, par une forte croissance des inventions strictement locales. Cependant, dans la majorité des pays, la proportion de co-inventions internationales a augmenté ou n'a que légèrement stagné ces dernières années.

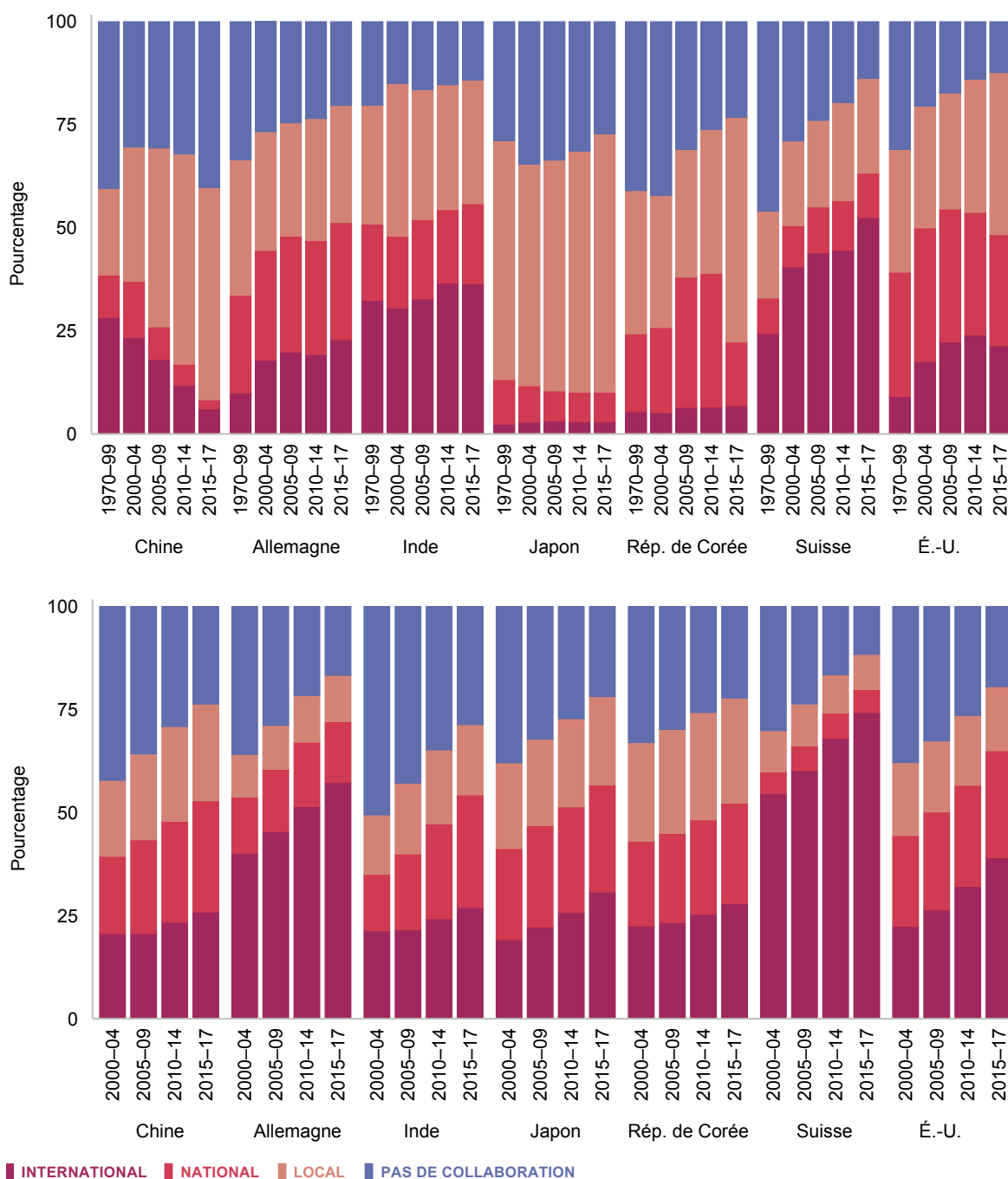
Lorsqu'elles recherchent des talents, les entreprises multinationales peuvent avoir des besoins et des stratégies très différents et variables dans le temps (figure 2.14). Ainsi, dans les années 2010, la région de San Jose – San Francisco représentait 53% des brevets déposés par Google. De même, la ville de Nuremberg (qui est la première source de brevets pour Siemens) représentait 32% de ces brevets pendant la même période. Sans surprise, Tokyo et Shenzhen – Hong Kong sont les principales sources d'inventions de Sony et Huawei, avec respectivement 71 et 81%. Si l'on compare les données des années 2010 à celles des années 2000, il est intéressant de constater que Google et Siemens ont davantage concentré leurs activités d'invention dans leurs principaux pôles d'innovation, tandis que Sony et Huawei ont fait l'inverse.

Les multinationales des pays à revenu moyen (comme le Brésil ou l'Inde) cherchent aussi des talents de différentes manières. La société de services technologiques Infosys dispose d'un réseau très large mais essentiellement situé en Inde. Le constructeur aéronautique brésilien Embraer reste pour sa part très concentré à São José dos Campos, où se situe également son siège. Néanmoins, dans les années 2010 Embraer a remplacé son deuxième pôle le plus grand du pays, qui était situé à São Paulo, par des connexions plus internationales, notamment avec la région de San Jose – San Francisco et les villes de Los Angeles ou Séoul, entre autres.

Les agglomérations à forte densité d'innovation du monde entier forment un réseau (tant au sein de leur

Différences de tendances entre les pays, notamment pour les brevets

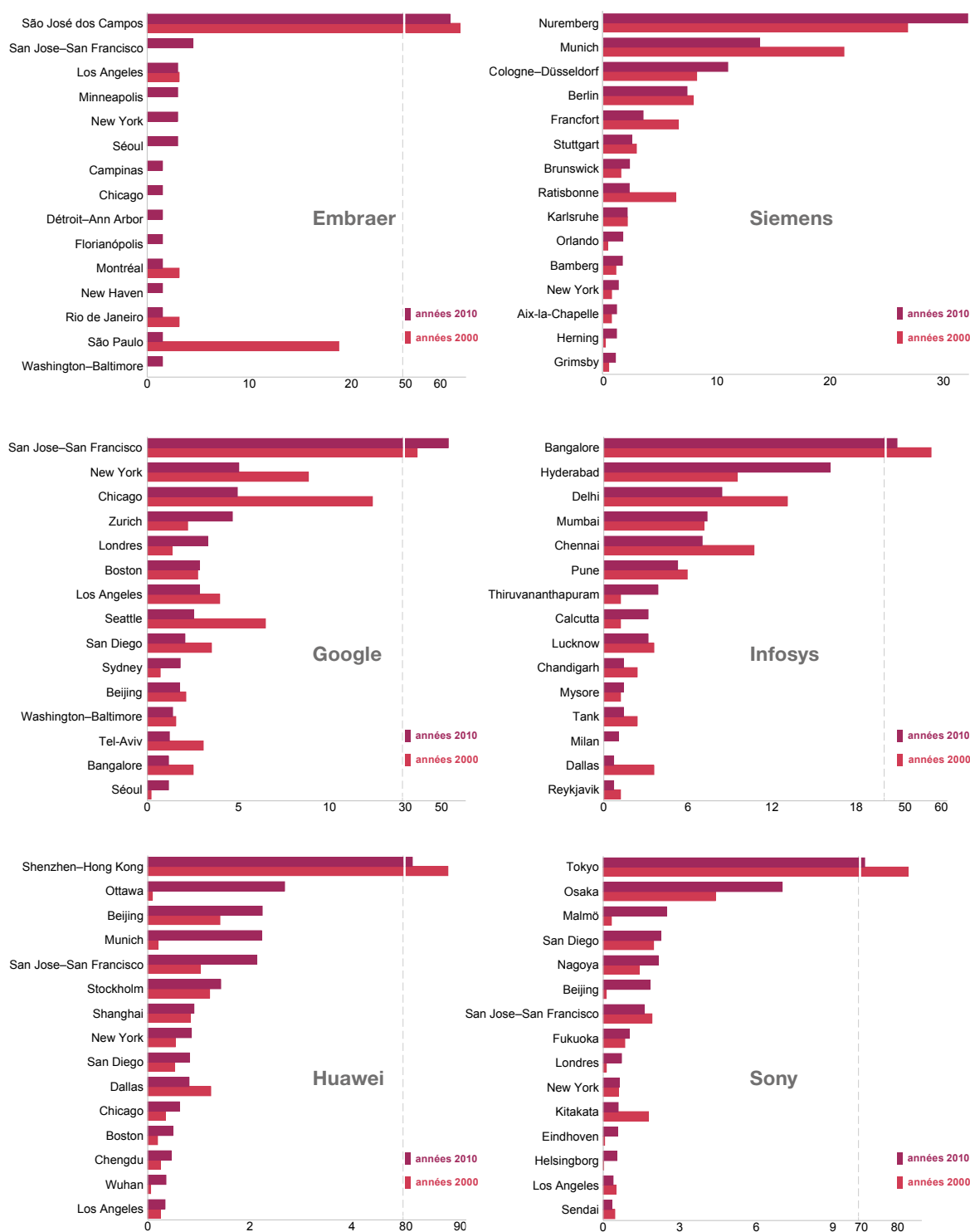
Figure 2.13 Part des GIH et des SNC dans les interactions en matière de coïvention (en haut) et de copublication (en bas), par emplacement des partenaires, pour certains pays



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les encadrés 2.1 et 2.2).
Notes: Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

Les multinationales choisissent des stratégies différentes pour établir des connexions

Figure 2.14 Réseau mondial de coinventeurs de certaines entreprises



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les encadrés 2.1 et 2.2).
 Notes: 15 premiers GIH par emplacement des inventeurs, pour les demandes de brevet déposées par l'entreprise. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

propre pays qu'à l'extérieur) qui concentre les inventions et les activités scientifiques, parfois aux dépens des acteurs situés en dehors¹⁶. Ces agglomérations innovantes forment en particulier un épais tissu de liens nationaux et internationaux entre des pôles d'innovation et des groupes de niche aux États-Unis d'Amérique, en Europe et en Asie. Dix pour cent seulement des pôles d'innovation représentent 26% de toutes les co-inventions internationales produites par des pôles dans le monde entier (figure 2.15). Ces pôles sont San Jose – San Francisco, New York, Francfort, Tokyo, Boston, Shanghai, Londres, Beijing, Bangalore et Paris.

La figure 2.15 illustre en outre les 10 premiers pour cent des liens de co-invention établis entre tous les pôles d'innovation généraux et les groupes de niche spécialisés. Même aux États-Unis d'Amérique, les groupes de niche et les pôles d'innovation de plus petite taille n'ont souvent que des connexions nationales. Cependant, bien qu'ils soient très dispersés sur le plan géographique, les pôles d'innovation généraux et les groupes de niche spécialisés des États-Unis d'Amérique constituent un réseau d'innovation national bien plus dense que dans le reste du monde. Il n'en reste pas moins qu'aux États-Unis d'Amérique, ce sont les plus grands pôles qui concentrent la majeure partie des connexions nationales et internationales avec d'autres pôles d'innovation et groupes de niche.

On peut observer une tendance analogue en Europe. Dans chaque pays, un petit nombre de grands pôles d'innovation jouent le rôle de point d'entrée et raccordent le système d'innovation national aux réseaux d'innovation mondiaux. La France offre quelques exemples typiques de ce système, Paris connectant d'autres villes françaises avec le reste du monde. Il en va de même au Royaume-Uni, où Londres est un acteur central. L'Allemagne affiche aussi une structure relativement hiérarchisée, quoique les points d'accès aux réseaux d'innovation mondiaux soient plus nombreux et que le réseau d'innovation national soit très dense. Le Japon et la République de Corée offrent également un exemple particulier, avec des réseaux d'innovation nationaux très denses mais des connexions internationales moins nombreuses et surtout orientées vers les États-Unis d'Amérique et les grands pôles d'Europe occidentale.

Dans les autres pays du monde, les pôles d'innovation et les groupes de niche ont établi beaucoup moins de connexions que ceux des États-Unis d'Amérique, de l'Europe occidentale, du Japon et de la République

de Corée. Toutefois, parmi ces autres pays, la Chine, l'Inde, le Canada et l'Australie présentent une image particulière. La Chine a un réseau d'innovation national dense dont la structure hiérarchique est également évidente, Shanghai, Beijing et Shenzhen – Hong Kong constituant les premiers points d'entrée internationaux. Le Canada, pour sa part, a l'avantage évident de sa proximité avec les États-Unis d'Amérique, et leurs réseaux nationaux sont bien intégrés. Le rôle des pôles d'innovation canadiens dans le réseau général de l'Amérique du Nord n'a pas d'équivalent au Mexique, qui n'a pas établi de liens de co-invention.

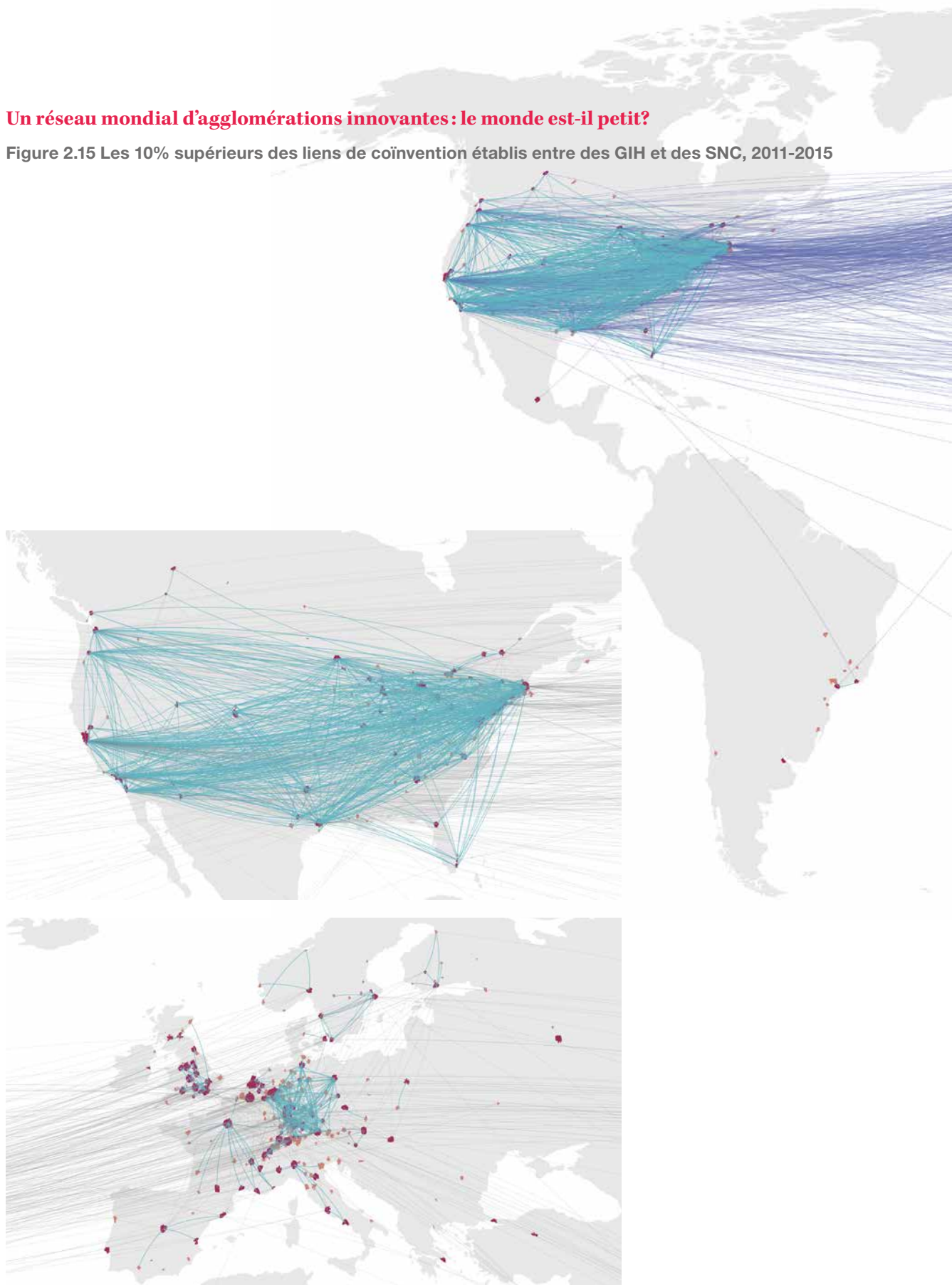
Malgré la domination de Bangalore, l'Inde dispose d'un réseau d'innovation national relativement actif, dans lequel plusieurs pôles ont des connexions internationales directes. De même, malgré son éloignement et l'immensité de son territoire, l'Australie a réussi à mettre en place plusieurs pôles d'innovation connectés au reste du monde, ainsi qu'un réseau national relativement bien interconnecté. L'Amérique latine est moins connectée que le reste de la planète : la grande majorité des liens établis par ses quelques pôles d'innovation et groupes de niche visent de grandes économies situées en dehors de la région. Elle ne dispose pas de réseau national ou régional comparable à ceux qui ont été décrits pour d'autres régions ou pays.

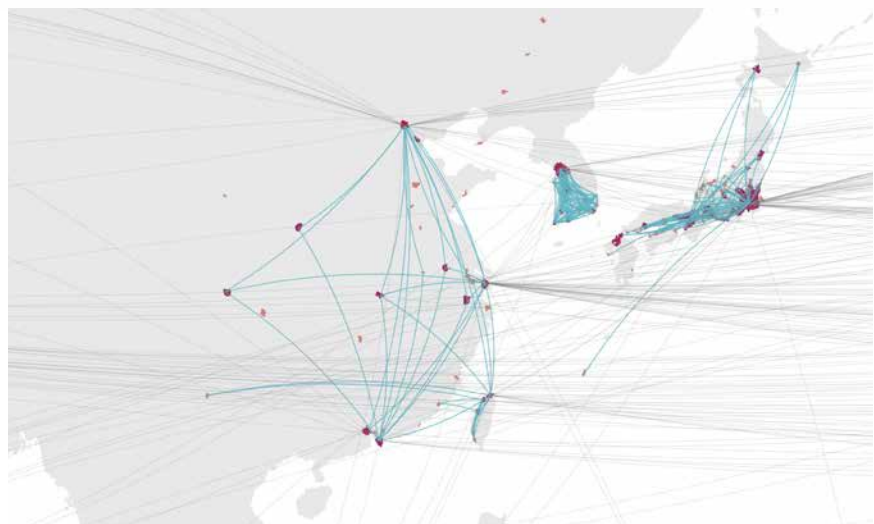
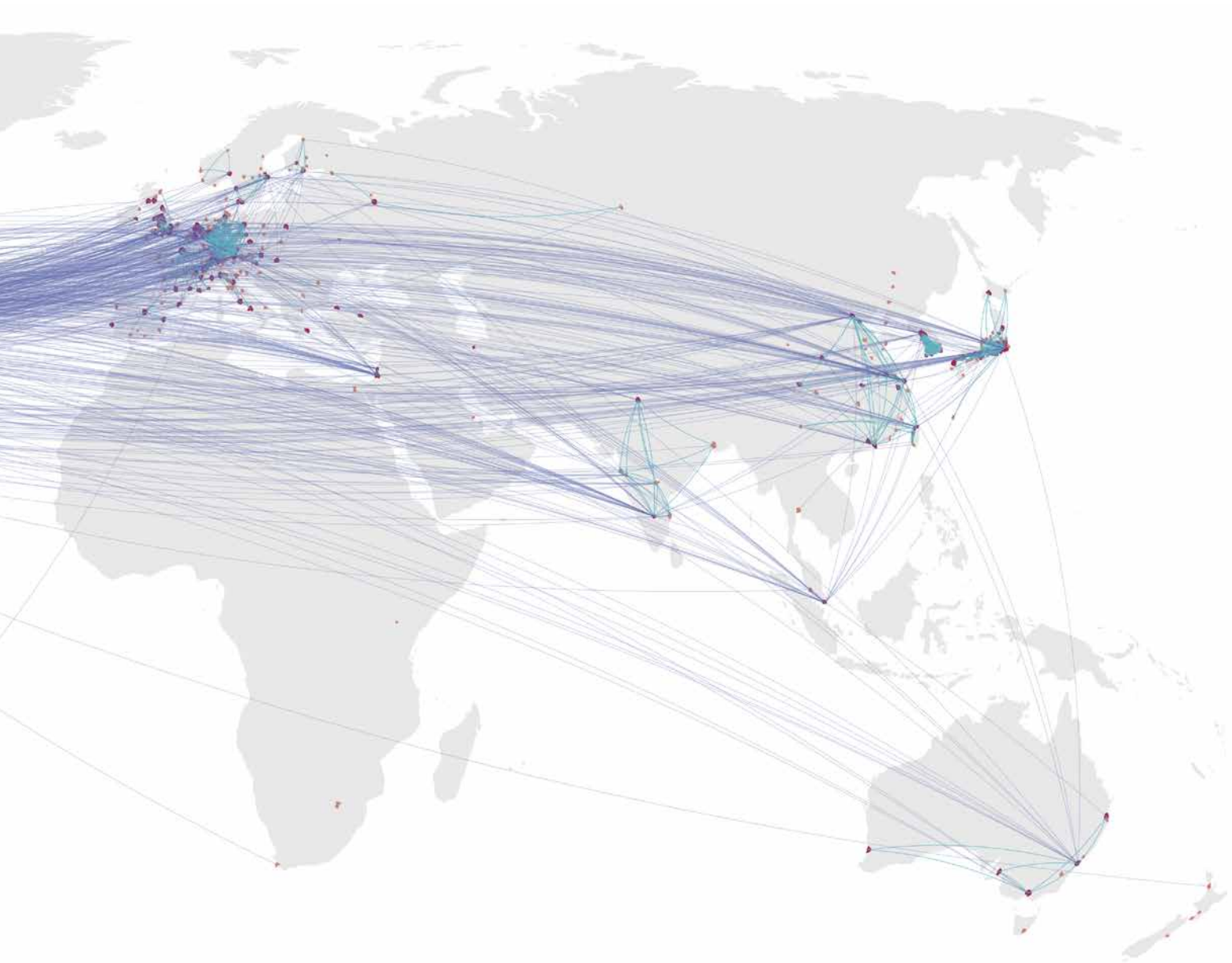
Tous les éléments ci-dessus montrent que la géographie n'est pas le seul facteur expliquant la mise en place des réseaux d'innovation mondiaux. En termes d'analyse de réseau, plus une agglomération à forte densité d'innovation est "centrale" au sein d'un réseau mondial, plus elle concentre de connexions internationales. La figure 2.16 illustre cette centralité en plaçant au milieu les pôles d'innovation et les groupes de niche ayant le plus de connexions, et en dispersant ceux qui sont le moins connectés.

Comme nous l'avons noté, les agglomérations des États-Unis d'Amérique font partie des nœuds les plus connectés; elles occupent donc une position plus centrale pour les deux périodes considérées (figure 2.16). Au centre de l'image se trouvent d'autres pôles d'innovation généraux qui peuvent aussi être considérés comme très connectés, notamment Tokyo, Londres, Shanghai, Beijing, Séoul ou Paris. Toutefois, ils occupent une position nettement moins centrale que les pôles des États-Unis d'Amérique. Quoi qu'il en soit, le réseau évolue dans le temps et son centre devient de plus en plus dense à mesure que de nouveaux nœuds et de nouvelles connexions viennent s'y ajouter.

Un réseau mondial d'agglomérations innovantes : le monde est-il petit?

Figure 2.15 Les 10% supérieurs des liens de coïvention établis entre des GIH et des SNC, 2011-2015





Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les encadrés 2.1 et 2.2).
 Notes: Seuls les 10 premiers pour cent correspondant aux liens les plus importants sont illustrés. Les lignes vertes relient les GIH et les SNC d'un même pays, tandis que les lignes pourpres relient des GIH et des SNC situés dans des pays différents. Les bulles représentent les 10 pôles d'innovation les plus importants en termes de volume de connexions. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

La taille ne joue qu'un rôle restreint. Les plus petits groupes sont connectés aux plus grands et aux très grands au sein d'un même pays, selon la structure hiérarchique évoquée plus haut. Tel est en particulier le cas des agglomérations au Royaume-Uni, au Japon et dans la République de Corée. D'un autre côté, plusieurs pôles d'une taille supérieure ou semblable à celle des plus grandes agglomérations des États-Unis d'Amérique (par exemple Tokyo) n'occupent pas une place aussi centrale dans le réseau mondial. Ce phénomène s'explique par le fait que les pôles japonais ont moins de connexions internationales.

La figure 2.17 illustre les sous-réseaux du réseau de co-invention présenté dans la figure 2.16 pour la période 2011-2015. Elle met en évidence le sous-réseau de tous les groupes de niche en affichant en grisé les connexions de tous les pôles d'innovation. Il ressort de cette figure que les zones à forte densité d'innovation spécialisée ne peuvent faire concurrence aux pôles d'innovation généraux en termes de volume de connexions. Les rares connexions des groupes de niche sont presque toujours établies au sein du même pays.

Cette figure présente par ailleurs les sous-réseaux propres à deux pôles d'innovation, Los Angeles et Daejeon en République de Corée, qui ont une taille équivalente au regard du nombre de brevets qu'ils produisent. Le pôle de Los Angeles est extrêmement connecté, tant à l'échelle nationale qu'internationale, ce qui en fait un nœud relativement bien centré dans le réseau mondial. Celui de Daejeon est moins central car il est surtout connecté à d'autres agglomérations coréennes. Les connexions internationales de Daejeon sont essentiellement limitées à Shanghai, San Francisco et New York.

La géographie n'est donc pas le seul facteur déterminant l'importance ou la "centralité" d'une agglomération à forte densité d'innovation au sein d'un réseau. Beaucoup d'autres facteurs doivent aussi être pris en considération.

2.4 Conclusions

Dans le présent chapitre, nous nous sommes appuyés sur un jeu de données très riche de demandes de brevet et de publications scientifiques pour répondre à plusieurs questions découlant de deux phénomènes actuels, qui sont eux-mêmes liés à la manière dont les

savoirs sont produits et partagés dans le monde. Ces deux phénomènes sont la dispersion géographique des savoirs à l'échelle internationale et, simultanément, leur concentration dans quelques pôles d'innovation géographiques.

La production de brevets et d'articles scientifiques ne s'est pas confinée aux économies traditionnellement connues pour créer des savoirs (en l'occurrence l'Europe, le Japon et les États-Unis d'Amérique). Cette évolution est d'autant plus remarquable que certaines activités liées aux savoirs comme les dépôts de brevet, la publication d'articles scientifiques, les investissements en recherche-développement, etc., ont toujours été plus concentrées que d'autres aspects de la mondialisation comme le commerce ou l'investissement étranger direct.

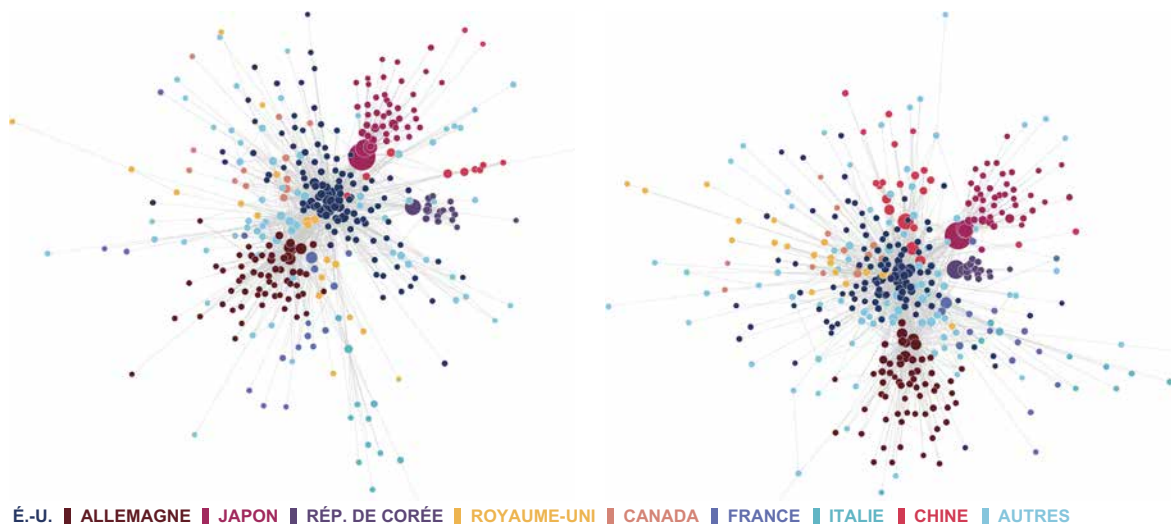
Néanmoins, un petit nombre d'économies occidentales, auxquelles s'ajoutent le Japon et la République de Corée, représentent près de 80% des activités visant à produire des brevets grâce à une orientation internationale, et environ 57% de toutes les publications scientifiques, ce qui est considérable. De fait, il semble que la dispersion de la production de savoirs soit due, pour une très large part, à un petit nombre d'économies en développement à revenu moyen, et notamment à la Chine. Parallèlement, de grandes zones de la planète, en particulier en Afrique et en Amérique latine, sont laissées à l'écart de l'ensemble du processus de mondialisation des savoirs.

Cette dispersion géographique relative des activités liées aux savoirs est due en partie à l'apparition de réseaux d'innovation mondiaux, qui ont commencé par relier entre eux des pays traditionnellement innovants, puis ont associé des économies à revenu moyen. Cependant, les réseaux des pays centraux continuent de dominer le paysage, tandis que les réseaux d'innovation ne comptant que des économies non centrales n'ont encore qu'une importance marginale en termes de brevets. En matière de publications scientifiques, certaines économies à revenu moyen, voire certains sous-réseaux au sein de ces économies commencent à jouer un rôle plus important.

Dans l'ensemble, la production de savoirs et les interactions connexes ont une portée de plus en plus mondiale grâce à la dispersion des pôles de création de savoirs et à la constitution d'équipes internationales. La relative stagnation des réseaux de co-invention s'explique par un ralentissement plus général de la mondialisation; en

Les agglomérations d'un petit nombre d'économies jouent un rôle central dans le réseau d'innovation mondial

Figure 2.16 Réseau de coïnvensions destinées à être brevetées, 2001-2005 et 2011-2015



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les encadrés 2.1 et 2.2).

Notes: Seuls les 10 premiers pour cent correspondant aux liens les plus importants sont illustrés. La taille des bulles représente le volume de brevets. Les bulles sont placées en fonction de leur importance au sein du réseau. Les statistiques relatives aux brevets sont fondées sur des familles internationales de brevets.

revanche, le développement d'équipes internationales chargées de publier des articles scientifiques ne s'est jamais ralenti. Pourtant, comme nous l'avons vu au chapitre premier, des réseaux d'innovation véritablement mondiaux ne sauraient se confiner à des éléments situés essentiellement dans quelques pays à revenu élevés. Plusieurs régions du monde ont encore fort à faire pour s'intégrer dans les réseaux internationaux et devenir à terme des acteurs à part entière des réseaux d'innovation générale. Bien entendu, établir une collaboration internationale avec les plus grands pôles d'innovation est une bonne manière de procéder, qui a fait ses preuves dans une certaine mesure avec quelques économies d'Asie orientale, notamment la Chine.

Une autre observation importante tient à la répartition géographique de la production de savoirs au sein des différents pays (tant chez les créateurs historiques de savoirs que parmi les nouveaux). Bien que la dispersion de la création de savoirs progresse dans le monde entier, le même phénomène ne se produit pas à l'intérieur de chaque pays, et l'on constate même un accroissement de la concentration dans certains pays. Cette situation pourrait naturellement avoir de graves conséquences sur la répartition des retombées

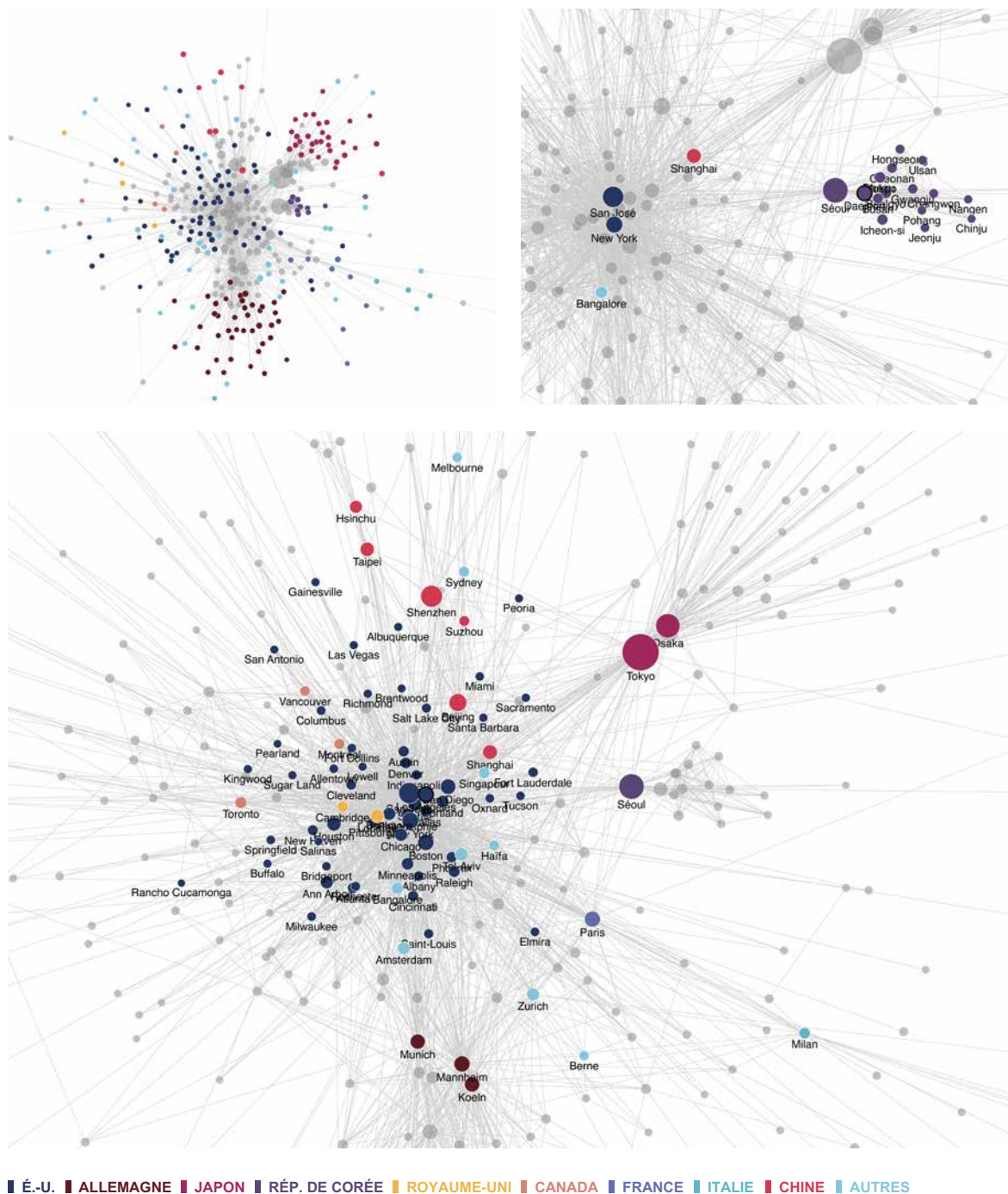
économiques des savoirs dans chaque pays, et elle devra être examinée en détail (voir le chapitre 5).

Ces agglomérations, appelées pôles d'innovation ou groupes de niche, ne se contentent pas de rassembler une part toujours plus grande de la production d'idées novatrices. Elles concentrent aussi, de manière croissante, les connexions avec d'autres pôles, tant au sein de leur pays qu'au-delà des frontières, créant ainsi un réseau d'innovation mondial composé d'un nombre relativement faible de pôles.

Cette situation ne présage rien de bon pour les zones d'un pays qui non seulement produisent moins d'innovations, mais qui de surcroît ne disposent pas des connexions nécessaires vers le monde extérieur. Ce manque de connexions risque de forcer certains pays ou certaines zones à suivre des trajets de développement qui les écarte de l'innovation.

La taille a une certaine importance au regard de la centralité dans le réseau, mais elle ne fait pas tout

Figure 2.17 Réseau de SNC et sous-réseaux d'innovation mondiaux de Los Angeles et Daejeon, 2011-2015



Source: OMPI à partir de données fournies par PATSTAT, le PCT et le site *Web of Science* (voir les encadrés 2.1 et 2.2).
 Notes: La taille des bulles représente le volume de brevets. Les bulles sont placées en fonction de leur importance au sein du réseau. Les bulles grisées ne font pas partie du sous-réseau.

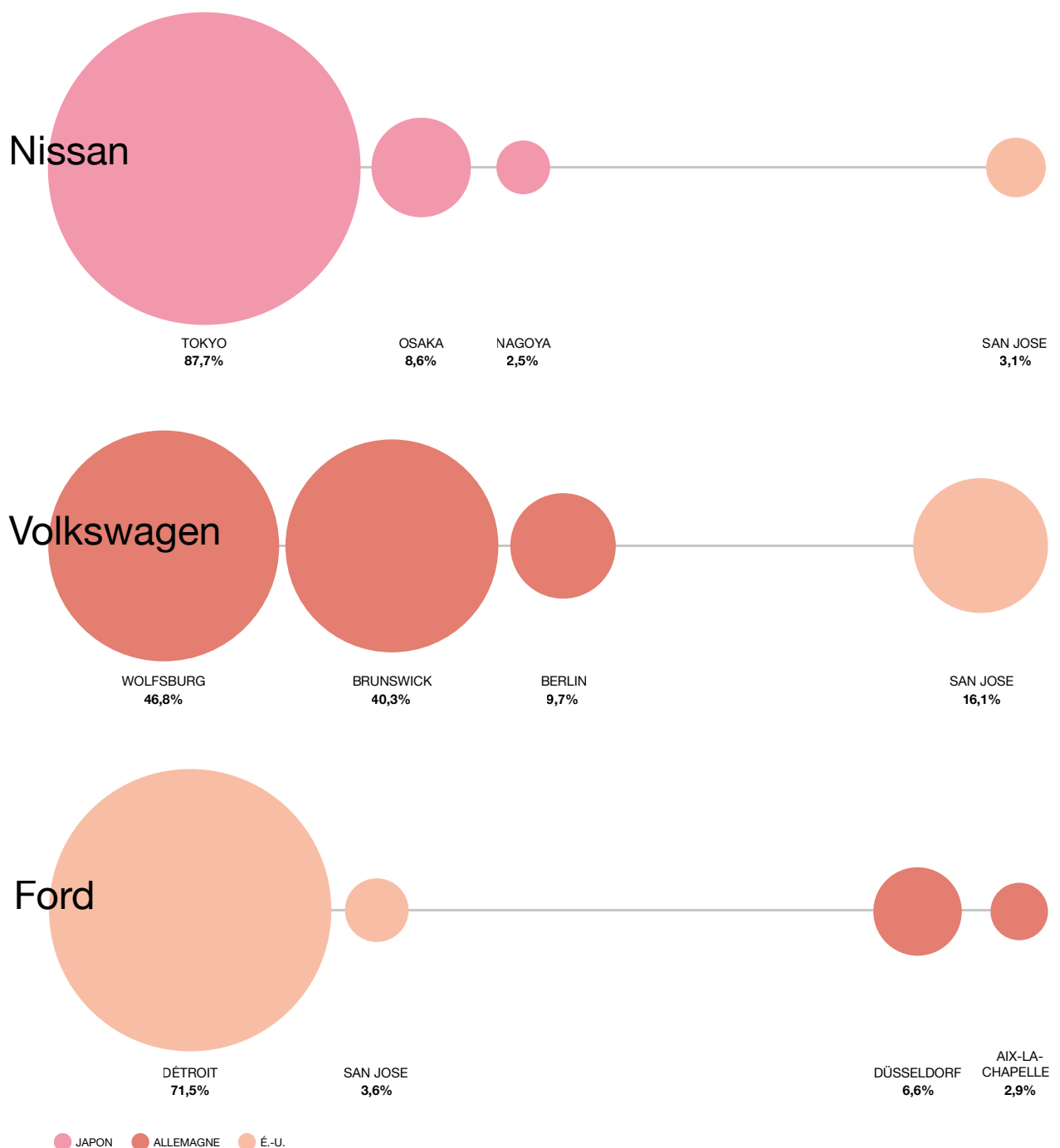
Notes

- 1 Le présent chapitre se fonde sur de Miguelez *et al.* (2019).
- 2 Le travail sur les données repose sur les efforts de recherche et la générosité de nombreuses autres personnes. En particulier, il s'appuie sur les données de brevets géocodées de Yin et Motohashi (2018), Ikeuchi *et al.* (2017), Li *et al.* (2014), de Rassenfosse *et al.* (2019), Morrison *et al.* (2017) et PatentsView (www.patentsview.org, mars 2019).
- 3 Voir Miguelez *et al.* (2019).
- 4 Amendolagine *et al.* (2019).
- 5 Voir Ester *et al.* (1996).
- 6 Voir les notes techniques pour plus d'informations.
- 7 Alcácer et Zhao (2016).
- 8 Voir l'examen dans Miguelez *et al.* (2019).
- 9 Les économistes ont constaté que les données sur l'éclairage nocturne sont un bon indicateur de la densité de la population et de l'établissement (voir Mellander *et al.*, 2015), mais qu'elles comportent aussi des limites. On sait qu'il existe un lien plus faible avec d'autres indicateurs économiques – par exemple, les salaires – et certaines distorsions techniques connues en ce qui
- concerne la surchauffe, les torches à gaz, les aurores boréales et la lumière du zéro.
- 10 CNUCED (2005) et Cantwell et Janne (1999).
- 11 Pour une réflexion sur ce ralentissement de la copaternité voir Miguelez *et al.* (2019).
- 12 Branstetter *et al.* (2014).
- 13 He *et al.* (2017) et CNUCED (2005).
- 14 Branstetter *et al.* (2018).
- 15 Voir Miguelez *et al.* (2019) pour la série complète.
- 16 Voir Chaminade *et al.* (2016).

Références

- Alcácer, J. et M. Zhao (2016). Zooming in: a practical manual for identifying geographic clusters. *Strategic Management Journal*, 37(1), 10-21. doi.org/10.1002/smj.2451
- Amendolagine, V., C. Chaminade, J. Guimón et R. Rabellotti (2019). Cross-Border Knowledge Flows Through R&D FDI: Implications for Low and Middle-Income Countries. Papers in Innovation Studies No. 2019/09. Lund: CIRCLE, Université de Lund.
- Branstetter, L., B. Glennon et J.B. Jensen (2018). Knowledge Transfer Abroad: The Role of US Inventors within Global R&D Networks. Working Paper No. 24453. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Branstetter, L., G. Li et F. Veloso (2015). The rise of international co-invention. In Jaffe, A.B. et B.F. Jones (éd.), *The Changing Frontier: Rethinking Science and Innovation Policy*. Chicago: University of Chicago Press, 135-168.
- Cantwell, J. et O. Janne (1999). Technological globalisation and innovative centres: the role of corporate technological leadership and locational hierarchy. *Research Policy*, Volume 28, Issues 2-3, mars 1999, pages 119-144. [doi.org/10.1016/S0048-7333\(98\)00118-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(98)00118-8)
- Chaminade, C., C. De Fuentes, G. Harirchi et M. Plechero (2016). The geography and structure of global innovation networks: global scope and regional embeddedness. In: Shearmu, R., C. Carrincazeaux et D. Doloreux (éd.), *Handbook on the Geographies of Innovation*. Cheltenham: Edward Elgar, 370-381.
- de Rassenfosse, G., J. Kozak et F. Seliger (2019). Geocoding of worldwide patent data. papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3425764
- Ester, M., H.-P. Kriegel, J., Sander et X. Xu (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)*, Portland, Oregon, 2 au 4 août, Menlo Park, CA: AAAI Press, 226-231.
- He, S., G. Fallon, Z. Khan, Y.K. Lew, K.H. Kim et P. Wei (2017). Towards a new wave in internationalization of innovation? The rise of China's innovative MNEs, strategic coupling, and global economic organization. *Canadian Journal of Administrative Sciences*, 34(4), 343-355. doi.org/10.1002/CJAS.1444
- Ikeuchi, K., K. Motohashi, R. Tamura et N. Tsukada (2017). Measuring Science Intensity of Industry using Linked Dataset of Science, Technology and Industry. *RIETI Discussion Paper Series*, 17-E-056. www.rieti.go.jp/en/publications/summary/17030073.html
- Li, G.-C., R. Lai, A. D'Amour, D.M. Doolin, Y. Sun, V.I. Torvik et L. Fleming (2014). Disambiguation and co-authorship networks of the U.S. patent inventor database (1975-2010). *Research Policy*, 43, 941-955.
- Mellander C., J. Lobo, K. Stolarick et Z. Matheson (2015). Night-time light data: a good proxy measure for economic activity? *PLoS ONE* 10(10): e0139779. doi.org/10.1371/journal.pone.0139779
- Migueluez, E., J. Raffo, C. Chacua, M. Coda-Zabetta, D. Yin, F. Lissoni et G. Tarasconi (2019). Reliés: le réseau mondial de l'innovation locale. *Document de travail de l'OMPI n° 58*, novembre. Genève: OMPPI.
- Morrison, G., M. Riccaboni et F. Pammolli (2017). Disambiguation of patent inventors and assignees using high-resolution geolocation data. *Scientific Data*, 4. doi.org/10.1038/sdata.2017.64
- CNUCED (2005). World investment report 2005: transnational corporations and the internationalization of R&D – overview. *Transnational Corporations*, 14(3), 101-140.
- Yin, D. et K. Motohashi (2018). Inventor Name Disambiguation with Gradient Boosting Decision Tree and Inventor Mobility in China (1985-2016), *RIETI Discussion Paper Series*, 18-E-www.rieti.go.jp/en/publications/summary/18030018.html

La collaboration
entre constructeurs
et entreprises de haute
technologie commence à
transformer la géographie
de l'innovation dans le
secteur de l'automobile.



Constructeurs automobiles et sociétés de haute technologie sur la voie du véhicule autonome

En 2004, le Ministère de la Défense des États-Unis d'Amérique organisait dans le désert Mojave une course hors-route de 240 km d'un genre jusque-là inédit : seuls pouvaient y prendre part des véhicules dépourvus de pilote et se déplaçant de manière autonome. Intitulée "Grand défi" ("Grand Challenge"), cette compétition était dotée d'un prix d'un million de dollars, lequel ne fut toutefois pas remporté, aucun des concurrents n'ayant réussi à la terminer¹.

La DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency – agence de recherche avancée du Ministère de la Défense) répéta l'expérience l'année suivante, en doublant le montant offert au gagnant. Cela attira des douzaines de participants, dont plusieurs franchirent, cette fois, la ligne d'arrivée. La course fut remportée par "Stanley", un véhicule autonome inscrit par l'université Stanford, suivi à la deuxième et à la troisième place par des véhicules de l'université Carnegie Mellon (CMU).

La voiture sans conducteur² fait rêver l'industrie automobile depuis au moins 1939, année de la présentation du concept "Futurama" de General Motors à l'Exposition universelle de New York. GM n'était d'ailleurs pas le seul constructeur à l'envisager à l'époque, et plusieurs tentatives de réalisation de véhicules autonomes virent le jour au cours des années suivantes. C'est toutefois depuis le milieu de la décennie 2000 que la concrétisation de cette vieille aspiration commence à se préciser, grâce aux immenses avancées réalisées dans le domaine de la robotique, et notamment de l'intelligence artificielle³.

L'industrie de la voiture automatisée en est seulement à ses balbutiements, et il faudra encore des années avant que l'on puisse voir des véhicules autonomes de niveau 5 sur le marché. Il n'en reste pas moins que les nouvelles technologies de la robotique et de l'intelligence artificielle sont déjà en train de transformer le secteur de l'automobile, et cela au point où elles représentent une importante menace existentielle pour les constructeurs en place. Intelligence artificielle, analyse de données, innombrables dispositifs et composants connectés – tout cela contribue à une réorientation du modèle d'affaires du secteur vers les services et ce que l'on appelle l'"économie des plateformes".

Les constructeurs traditionnels, dont les compétences fondamentales sont la production et la commercialisation d'automobiles, craignent de se voir supplantés et relégués à un rôle de second plan. Pour faire face à cette menace, un éventail de possibilités s'offre à eux, depuis l'investissement dans le développement de la connaissance au sein de leurs entreprises, le recrutement de capital humain et la création d'alliances stratégiques jusqu'au rachat de nouveaux entrants ou à une combinaison de ces dernières⁴. Personne ne peut affirmer que l'une ou l'autre de ces stratégies soit celle qui donnera les meilleurs résultats. Ce que l'on sait, en revanche, c'est que ni les constructeurs établis ni les nouveaux entrants ne disposent actuellement des compétences nécessaires pour parvenir seuls à faire de la voiture autonome une réalité. Ils doivent donc unir leurs forces ou développer à l'interne les compétences qui leur font actuellement défaut.

Le présent chapitre se propose, dans ce contexte, d'examiner les pôles d'innovation actuels de l'industrie automobile et de tenter de comprendre l'influence qu'exerce la voiture autonome sur la répartition et la concentration géographiques de l'innovation (voir le chapitre 1). L'analyse des liens entre nouveaux entrants et entreprises traditionnelles peut fournir des indices quant à l'évolution future des pôles d'innovation actuels. Le comportement des entreprises face à la technologie du véhicule autonome déterminera si elles ont ou non leur place parmi les chefs de file du marché et dans quelles régions se concentrera cette technologie.

Dans les sections qui suivent, le présent chapitre s'intéresse à l'évolution contemporaine de la technologie du véhicule autonome, ainsi qu'à ses principaux acteurs. Deux autres technologies connexes y sont également abordées brièvement : la mobilité et la connectivité. Les incidences de la technologie du véhicule autonome sur l'industrie automobile sont ensuite examinées à deux égards pour savoir, premièrement, si cette dernière change la nature des collaborations d'innovation entre constructeurs traditionnels et nouveaux entrants, et deuxièmement, si elle modifie la géographie de l'innovation. Le chapitre se termine par une analyse des incidences positives et négatives possibles des véhicules autonomes.

3.1 Définitions

Composantes de base d'un système de conduite automatisé

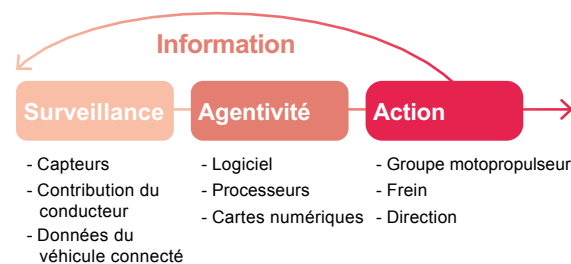
Un système de conduite automatisé comporte toujours trois composantes fonctionnelles de base, à savoir la surveillance, l'agentivité et l'action (voir la figure 3.1). On peut dire que la surveillance recouvre le captage et l'attention, tandis que l'agentivité s'applique à la prise de décisions et que l'action concerne la mise en œuvre de ces dernières. Les systèmes automatisés peuvent en outre comprendre diverses boucles de retour d'information comprenant, le cas échéant, l'apprentissage automatique.

Niveaux d'automatisation de la conduite

La norme s'appliquant dans l'industrie à la terminologie relative aux véhicules automatisés a été mise en place par la SAE (Society of Automotive Engineers) sous le

Principaux aspects de la conduite assistée par ordinateur

Figure 3.1 Les trois composantes fonctionnelles de base de tout système automatisé



Source: Center for Automotive Research (CAR).

nom de *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles* (SAE J3016). Elle a été publiée, à l'origine, en 2014, puis a fait l'objet d'une refonte approfondie en 2018.

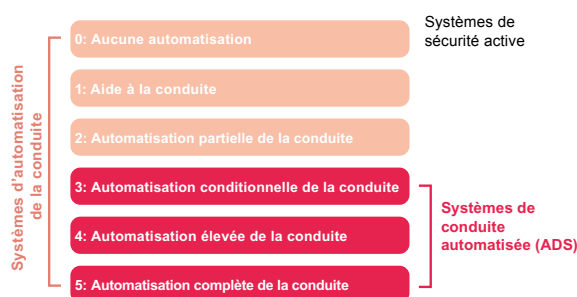
Cette norme SAE a établi et défini six niveaux d'automatisation de la conduite (figure 3.2), dont un niveau 0 pour les systèmes qui n'interviennent pas durablement de manière dynamique dans la conduite. Les niveaux 1 et 2 concernent respectivement la conduite assistée et la conduite semi-automatisée. Ces premiers niveaux d'automatisation s'appliquent à des systèmes que le conducteur doit au moins superviser de manière active. Les dispositifs qui prennent complètement en charge la fonction de conduite dynamique sont classés aux niveaux SAE 3, 4 et 5, et sont tous désignés sous le nom de systèmes ADS (systèmes de conduite automatisée). Bien que le présent chapitre s'intéresse plus particulièrement aux technologies de niveau 3 et plus, nous n'avons pas exclu de notre analyse empirique les innovations historiques des décennies 1980, 1990 et du début des années 2000, qui constituent les fondements de la technologie moderne des véhicules autonomes.

3.2 L'évolution de la technologie dans l'industrie automobile

Les ouvrages relatifs à l'évolution des industries⁵ divisent toujours cette dernière en cinq phases, quel que soit le secteur concerné : stade initial, embryonnaire, croissance, sortie massive de concurrents (*shakeout*), maturité et déclin. Les premières de ces étapes sont pleines d'incertitudes et connaissent un nombre important d'entrées et de sorties. Par la suite, un dessin ou modèle dominant se dégage, de sorte qu'il

Du manuel au tout-automatique

Figure 3.2 Six niveaux d'automatisation de la conduite



Source: Center for Automotive Research, sur la base de la norme SAE 2016.

ne reste plus qu'une poignée de firmes dans la course. Sprite, Unito, Wolfe, Angus ou Empire ne sont pas exactement des noms marquants dans le domaine de l'automobile; il s'agit pourtant de constructeurs qui ont fait partie des pionniers, mais aussi des milliers d'entreprises sorties de cette industrie voici plus d'un siècle, à l'époque où les premières automobiles commençaient à fasciner le monde.

Jusqu'à une époque récente, l'automobile était considérée comme un secteur mature, composé d'acteurs bien établis, dont la technologie reposait essentiellement sur des principes connus depuis les années 1930⁶. Les premières innovations étaient fondamentales, car ce sont elles qui ont défini la structure même de l'automobile. En font notamment partie l'idée du moteur à refroidissement liquide monté à l'avant du véhicule, de la transmission par arbre, du profilage des carrosseries et du châssis en acier embouti⁷. Les autres innovations de produit et de procédé intervenues au cours des années postérieures à la Deuxième Guerre mondiale ont été attribuées à l'augmentation des cours du pétrole, aux pressions sur les prix résultant de l'intensification de la concurrence internationale et à l'évolution des exigences des consommateurs.

Au commencement du millénaire, les choses ont changé: l'augmentation de la puissance de traitement des ordinateurs s'est combinée à l'accélération de l'adoption de l'Internet et, partant, du téléphone intelligent, pour ouvrir plusieurs nouvelles voies d'innovation. De nombreux secteurs traditionnels, comme ceux des journaux, de la musique, de la télévision et de la vente au détail, se sont soudain trouvés confrontés aux vagues de bouleversements technologiques soulevées

par les progrès du domaine des logiciels et des matériels informatiques. Les contrecoups qu'ils subissaient atteignaient non seulement leurs compétences de base, mais aussi leurs actifs complémentaires – ceux dont ils avaient besoin pour commercialiser leurs produits – et leurs canaux de distribution. Un grand nombre de ces industries ont été ébranlées par l'ère numérique et obligées de se réorganiser. Bien qu'ayant bénéficié d'un relatif sursis, l'industrie automobile n'a pas été épargnée. En 2018, par exemple, la flotte mondiale de véhicules électriques a dépassé 5,1 millions d'unités⁸, soit une part de marché de près de 2,1%. On s'attend à ce que cette dernière atteigne environ 30% d'ici 2030.

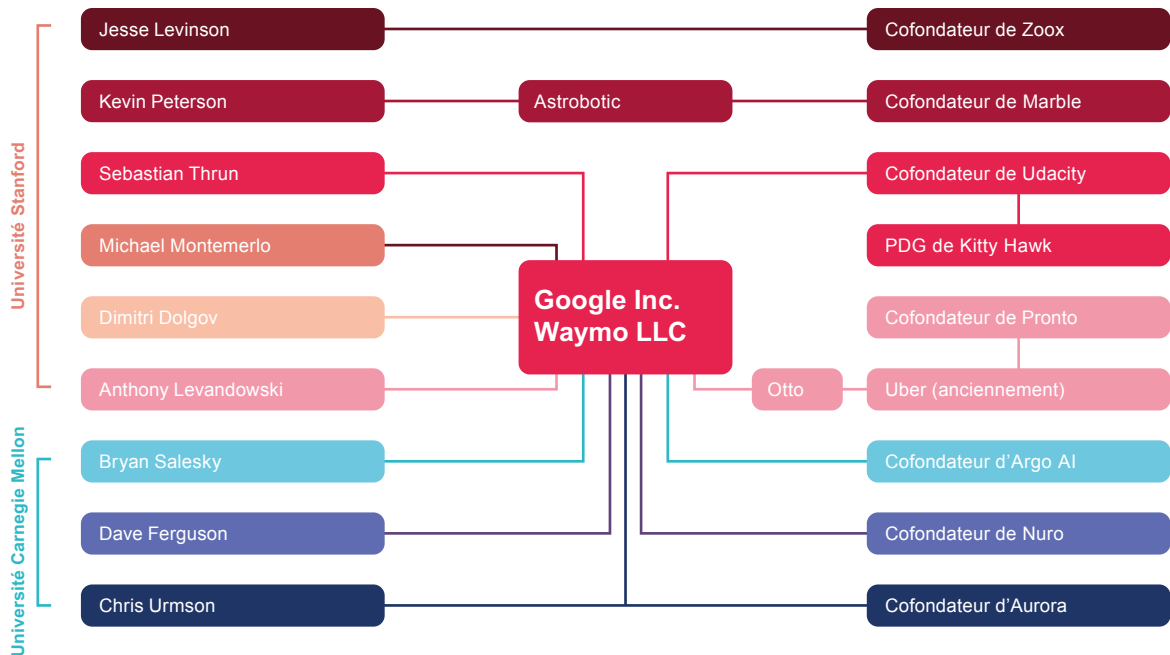
Les études consacrées au cycle de vie des industries expliquent que lorsque ces dernières arrivent à maturité, elles sont exposées à des chocs technologiques qui, dans certains cas, recèlent les éléments nécessaires pour amorcer un nouveau cycle. Quant à savoir si ce nouveau cycle se réalisera ou pas, cela dépendra des compétences technologiques sur lesquelles elles pourront ou non s'appuyer. Les participants au nouveau cycle pourront être issus du même secteur ou d'autres secteurs non concurrents dont les compétences répondent aux exigences requises à cet effet.

Les compétences nécessaires à la mise au point des véhicules autonomes ont conduit des acteurs des industries de haute technologie à entrer dans le secteur de l'automobile, avec pour objectif ultime l'élaboration de véhicules entièrement automatiques, ne nécessitant aucune intervention de la part d'un conducteur. Les deux grands ingrédients de la réalisation d'un véhicule autonome sont le "V" et le "A". Essentiellement, un véhicule autonome se compose d'un châssis et d'un moteur auxquels s'ajoute une intelligence dont le rôle est d'assurer la pleine autonomie de la partie physique de l'ensemble. Les compétences de base des constructeurs automobiles traditionnels⁹ résident dans la composante représentée par le "V". La création de tous les éléments logiciels (par exemple, l'intelligence artificielle) et matériels (par exemple, les capteurs et les caméras) contribuant à la réalisation de l'autonomie – la composante "A" – relève des compétences de base des entreprises de haute technologie.

Les compétences fondamentales des constructeurs automobiles traditionnels concernent la production de masse, le génie mécanique et la négociation des milliers d'écueils réglementaires qui se dressent sur la voie de l'homologation de leurs véhicules. Elles sont le résultat de dizaines d'années d'acquisition de

Les chercheurs du Grand défi et leurs entreprises

Figure 3.3 Un grand nombre de participants des Grands défis DARPA sont aujourd'hui des acteurs prépondérants de l'industrie du véhicule autonome



Source: Universités Stanford et Carnegie Mellon.

connaissances tacites (difficilement reproductibles) et de savoir-faire. La maîtrise de ces compétences n'est ni instantanée ni facile.

Pour ce qui est des nouveaux entrants, leurs compétences technologiques se situent du côté des matériels informatiques et des logiciels, et notamment des algorithmes d'apprentissage profond et de contrôle en temps réel qui sont nécessaires à l'autonomie des véhicules. Ce sont des compétences qui dépassent le cadre de l'expertise de la plupart des constructeurs automobiles et de leurs fournisseurs, pour qui elles sont en grande partie nouvelles.

Si tout le monde sait plus ou moins quelles sont les compétences de base des constructeurs automobiles, il n'en est pas de même en ce qui concerne les vagues technologiques qui transforment cette industrie. Les sections suivantes examinent brièvement trois de ces vagues technologiques, qui sont quelque peu liées les unes aux autres. Bien que son influence sur l'industrie soit tout aussi importante, une quatrième vague, celle des véhicules électriques, n'est pas traitée ici parce qu'elle déborde le cadre du présent chapitre.

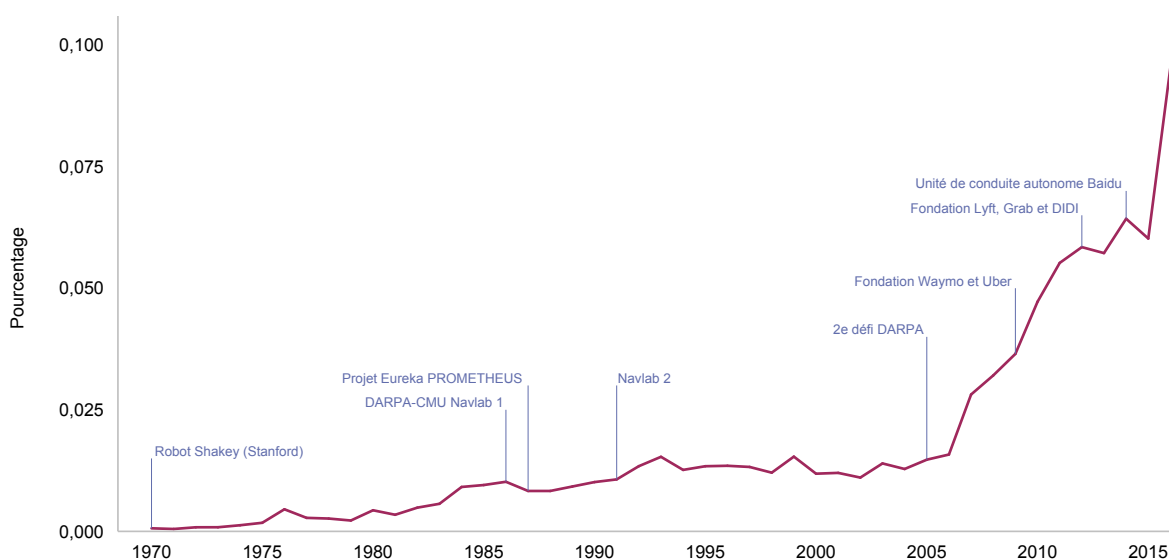
Véhicules autonomes : les scientifiques à l'origine de leur essor contemporain

Le Massachusetts Institute of Technology (MIT) est à l'origine de toute une série de startups et d'entreprises de haute technologie du domaine des véhicules autonomes. Le MIT joue depuis des décennies un rôle de premier plan dans le domaine de la robotique, et a contribué à une concentration d'entreprises spécialisées dans la robotique pour véhicules autonomes dans la région de Cambridge et Boston. Un certain nombre d'entreprises dérivées spécialisées en robotique ont en outre été fondées par des diplômés du MIT, dont quelques-unes qui s'intéressent spécifiquement à l'élaboration de véhicules autonomes.

En 2007, la DARPA a réédité son "Grand défi", en imposant cette fois aux véhicules de parcourir une centaine de kilomètres dans un environnement urbain simulé, en tenant compte de la présence d'autres véhicules et en respectant le code de la route. Une fois de plus, la course fut dominée par les universités Carnegie Mellon et Stanford, la première place étant remportée par le véhicule "Boss" de Carnegie Mellon. En tout, six équipes ont réussi à terminer le parcours

La technologie du véhicule autonome est en essor depuis le milieu des années 2000

Figure 3.4 Évolution chronologique de la part des premiers dépôts de brevets relatifs aux véhicules autonomes et événements marquants



Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT et du PCT (voir les notes techniques).

de cette édition 2007, démontrant du même coup la rapidité avec laquelle la technologie de conduite autonome s'était développée dans plusieurs universités. De nombreux participants aux défis DARPA issus des universités Carnegie Mellon et Stanford ont été engagés par la suite par des géants de la haute technologie de la Silicon Valley, notamment Google (Waymo était un projet de conduite autonome de Google avant de devenir une entité indépendante). La plupart de ces chercheurs ont fondé depuis leurs propres entreprises indépendantes ou dérivées, dont notamment les sociétés de haute technologie Aurora, Udacity, Nuro et Argo AI, qui jouent toutes un rôle de premier plan dans l'industrie du véhicule autonome (voir la figure 3.3).

Les défis DARPA ont été des événements marquants dans l'histoire moderne de la technologie du véhicule autonome. Si rien ne permet d'affirmer l'existence d'un lien de causalité, on observe au milieu des années 2000 une tendance à l'intensification de l'activité d'innovation dans ce domaine (mesurée par le nombre de dépôts de brevets – voir l'encadré 3.1), qui coïncide avec les initiatives de la DARPA. Un pic important d'innovation s'est notamment manifesté après 2010. Malgré cela, la place de la technologie du véhicule autonome reste très limitée – elle représentait, par exemple, moins de 0,1% de tous les brevets déposés dans le monde en 2016, au plus fort du pic en question (voir la figure 3.4).

Encadré 3.1 La stratégie de cartographie des brevets relatifs aux véhicules autonomes et ses limitations¹⁰

L'industrie du véhicule autonome combine des technologies diverses en vue de parvenir à un résultat précis : l'automatisation du fonctionnement des véhicules terrestres. La recherche des technologies relatives au véhicule autonome et des chercheurs qui s'y intéressent est, par conséquent, un processus fondamentalement imprécis, qui nécessite de la créativité et des efforts répétés. En définir clairement les contours est très difficile.

Pour remédier à ces limitations, le présent chapitre utilise les codes technologiques d'un système international de classement des documents de brevet, la Classification coopérative des brevets (CPC). Une liste des classes de la CPC correspondant aux technologies utilisées dans l'industrie du véhicule autonome a été dressée. Cette liste a ensuite été divisée en deux groupes. Tout d'abord, un groupe composé d'un nombre limité de classes pointues dont on pouvait supposer, sans trop de risques de se tromper, qu'elles se rapportaient toutes aux véhicules autonomes. Ensuite, un deuxième groupe

réunissant des classes plus larges et des brevets susceptibles de ne pas avoir rapport aux véhicules autonomes. Une liste de mots-clés a été ajoutée à la recherche pour ce deuxième groupe. Il s'agissait de différents arrangements des termes "véhicule, autonome, voiture, taxi, camion", etc., et ils ont été utilisés pour recenser les brevets des classes de la CPC sélectionnées, dans l'abrégé ou le titre desquels l'un d'eux était contenu.

Cette même liste de mots-clés a été utilisée pour rechercher les publications scientifiques dans le titre ou le résumé desquels ils étaient mentionnés. Une nouvelle liste de mots-clés a été constituée à partir des articles ainsi identifiés, par exemple "régulateur de vitesse prédictif". Étant donné que les publications représentent seulement des catégories larges, n'offrant aucune granularité à l'instar des classes de la CPC, la matière traitée a été utilisée pour éliminer les faux positifs représentés par les articles relatifs à des domaines a priori sans rapport avec la technologie du véhicule autonome, par exemple la microbiologie, la zoologie, etc.

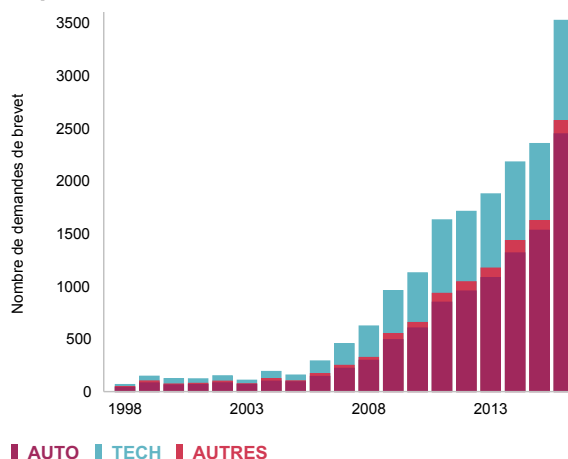
Mobilité en tant que service

Le concept de mobilité en tant que service (MaaS), qui consiste en l'intégration de diverses formes de services de transport en un seul service de mobilité accessible à la demande, s'est répandu parallèlement à ces efforts. Des entreprises telles qu'Uber et Lyft ont vu le jour, respectivement en 2009 et 2012. D'autres sociétés fondées sur des modèles d'affaires similaires ont bientôt fait leur apparition à travers le monde : Ola Cabs en Inde en 2010, puis, en 2012, Grab à Singapour et DiDi Chuxing en Chine. Ces entreprises offrent des services de transport à la demande ou d'autopartage. Un grand nombre d'entre elles se sont diversifiées dans la livraison, la logistique et le vélopartage.

Selon Travis Kalanick, l'ancien PDG d'Uber, le développement des "taxis robots" (taxis autonomes) était "d'une importance vitale" pour la société. Si l'avenir est à la voiture automatisée, les entreprises du secteur de la mobilité ont tout intérêt à s'intéresser à la technologie du véhicule autonome, et cela pour de multiples raisons. Pour commencer, retirer le conducteur de l'équation leur permettra d'économiser de l'argent.

Le glissement technologique du milieu des années 2000 est dû principalement à l'essor de l'intelligence artificielle, de la robotique et des services de mobilité

Figure 3.5 Évolution et répartition sectorielle des dépôts de brevets de véhicules autonomes



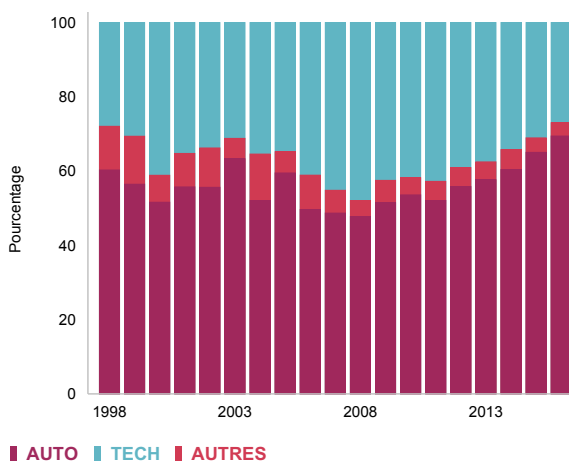
Source : OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT et du PCT (voir les notes techniques).

Deuxièmement, leur modèle d'affaires a la capacité de changer les conditions économiques de l'industrie automobile. La mobilité en tant que service pourrait mener à une réduction du nombre de ventes de véhicules privés au profit d'un système de flottes dont les revenus se calculeront en nombre de kilomètres parcourus et non de véhicules vendus. La technologie du véhicule autonome peut donner naissance à un système dans lequel le consommateur paye pour avoir accès à un service de transport au lieu d'acheter une voiture. Un rapide calcul mettant en parallèle le nombre de voitures circulant sur les routes, avec le kilométrage qu'elles parcourent en moyenne chaque année, et le prix au kilomètre facturé par les entreprises de mobilité démontre que si toutes les voitures existantes étaient converties en voitures autonomes, les constructeurs pourraient réaliser un bénéfice tout en facturant beaucoup moins cher que les entreprises de mobilité.

Troisièmement, les entreprises de mobilité disposent d'une masse de données et d'informations sur le comportement et les préférences des consommateurs, ce qui pourrait leur donner un avantage considérable dans un environnement d'achat fondé, de plus en plus, sur la personnalisation et l'expérience du consommateur.

Dans les années immédiatement postérieures à 2005, les entreprises de technologie comptaient pour près de la moitié des brevets de véhicules autonomes

Figure 3.6 Répartition sectorielle des parts de brevets de véhicules autonomes



Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT et du PCT (voir les notes techniques).

Véhicules connectés

Une autre branche de la technologie qui est maintenant étroitement liée à la notion de conduite autonome est celle du “véhicule connecté”. Étant donné qu’un véhicule peut être connecté sans être autonome, ces deux termes ne sont pas interchangeables et ne doivent pas être confondus. Les technologies des véhicules connectés ont pour but de permettre à ces derniers de communiquer entre eux ainsi qu’avec leur environnement. Elles visent l’amélioration de l’efficacité et de la sécurité routière, tant pour le conducteur que pour les piétons. Les fonctions les plus courantes dont bénéficient les véhicules connectés sont le partage de données de freinage, la cartographie haute définition en temps réel, la signalisation de dangers routiers et fermetures de routes, la gestion de données de flotte et l’info-divertissement. Toutes nécessitent un temps de latence (délai d’exécution des commandes) aussi faible que possible, ainsi qu’une précision maximale dans la transmission des données. C’est pourquoi la technologie de téléphonie mobile 5G est en passe de devenir la norme pour les véhicules autonomes et connectés¹¹. Un certain nombre d’entreprises de haute technologie, dont notamment Huawei, Intel et Ericsson, travaillent dans ce sens.

3.3 Glissement technologique

L’analyse de l’évolution et de la répartition sectorielle des dépôts de brevets de véhicules autonomes tend à indiquer que le principal facteur de glissement technologique est l’essor de l’intelligence artificielle, de la robotique et des services de mobilité. Au cours des années suivant immédiatement 2005, près de la moitié des dépôts semble provenir du secteur de la haute technologie¹². Le secteur de l’automobile a cependant repris la tête par la suite (voir les figures 3.5 et 3.6). Sans surprise, la majorité des déposants sont des sociétés, environ 20% sont des particuliers et seulement 10% sont des universités ou d’autres entités publiques.

Il suffit de jeter un rapide coup d’œil à la liste des principaux déposants de brevets¹³ de la décennie 1990 pour voir qu’il s’agissait alors d’entreprises manufacturières et de constructeurs d’automobiles. Le tableau change toutefois à mesure que les années passent. À partir du milieu des années 2010, les sociétés Google, Qualcomm, Mobileye, Uber et Baidu font leur apparition parmi les 100 premiers déposants de brevets dans le domaine de la voiture autonome, alors qu’elles ne viennent pas immédiatement à l’esprit lorsque l’on pense à l’industrie automobile. Ce groupe de 100 déposants, qui est mené par des noms tels que Ford (357 brevets), Toyota (320) et Bosch (277), est à l’origine de la moitié environ de l’ensemble des demandes de brevet. Parmi les non-constructeurs d’automobiles de la liste, Google et sa filiale chargée des véhicules autonomes Waymo figurent en huitième position, avec 156 brevets, devant des constructeurs tels que Nissan, BMW et Hyundai. Suivent des entreprises telles que Uber et Delphi, avec chacune 62 brevets dans le domaine de la voiture autonome, qui se classent à égalité au trente et unième rang.

3.4 Concurrence et coopération dans le domaine du véhicule autonome

Il est désormais établi que la filière de l’automobile connaît les premières phases d’une ère de bouleversement technologique et que plusieurs nouveaux entrants, tant du secteur de l’automobile que de celui de la haute technologie, se joignent à l’aventure. Les questions de normalisation et de réglementation ne font pas encore l’objet de débats très approfondis, et on ne s’est pas encore entendu sur la terminologie ou

les définitions de base. L'élaboration de la technologie du véhicule autonome est une entreprise extrêmement coûteuse, non seulement sur le plan financier, mais aussi en temps. Cela signifie que les acteurs de cette industrie ont tout avantage à unir leurs efforts et à partager les risques et l'investissement. Mais qui doit s'allier à qui? Et dans quel but? A priori, trois types de collaborations sont possibles : entre constructeurs automobiles, entre sociétés de technologie ou entre constructeurs automobiles et sociétés de technologie.

Collaboration entre constructeurs automobiles

Le choc technologique que représente la voiture autonome incite les constructeurs automobiles à former des alliances, dans le but de partager les coûts et les risques, mais aussi pour défendre leur position sur le marché face aux nouveaux venus. La menace qui les guette tous est celle d'une banalisation de leurs compétences de base, qui ferait d'eux de simples fournisseurs d'un produit de commodité, en l'occurrence la voiture. La valeur ajoutée proviendrait de sociétés de haute technologie qui bénéficieraient, dès lors, de l'essentiel des retombées. Les constructeurs mondiaux Daimler et BMW ont annoncé leur intention de créer un partenariat à long terme pour le développement de technologies de conduite automatisée.

Pas moins de 1200 techniciens des deux entreprises travailleront ensemble, au campus de conduite autonome de BMW à Unterschleissheim, près de Munich, au centre d'essai et de technologie de Daimler à Immendingen, dans le sud de l'Allemagne ou au centre de technologie de la filiale Mercedes de Daimler à Sindelfingen, près de Stuttgart. Les deux partenaires ont l'intention de lancer leur prochaine génération de voitures autonomes d'ici 2024¹⁴. Un autre constructeur allemand, Audi, a annoncé s'être également joint à cette alliance¹⁵.

S'il peut paraître surprenant de voir des ennemis de longue date devenir amis, cela n'a rien de rare dans le domaine du véhicule autonome. L'énormité des investissements que nécessitent la conception et la construction de véhicules a déjà conduit Honda à joindre ses efforts à ceux de General Motors, tandis que Volkswagen négocie actuellement avec Ford une alliance portant sur les voitures autonomes.

Collaboration entre sociétés de technologie

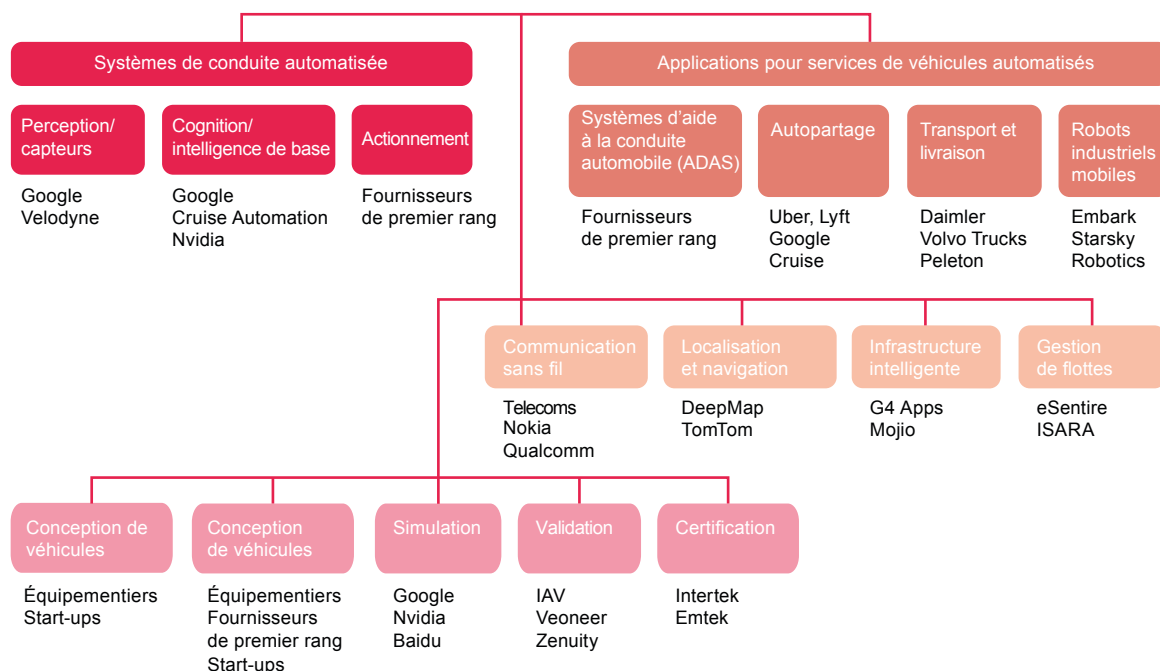
Le besoin de collaborer pour répartir les risques et les coûts existe également pour les entreprises de haute technologie. En effet, la plupart de ces dernières, et particulièrement celles, plus petites, qui sont lancées pour explorer une technologie nouvelle (les "startups"), évoluent dans un créneau, que ce soit dans le domaine du matériel, des logiciels, des services de mobilité, de la connectivité, des communications ou bien d'autres encore (voir la figure 3.7 ci-dessous). À l'exception de Waymo, qui développe en interne l'ensemble de son matériel et toutes les couches de ses logiciels¹⁶, aucune société de technologie ne possède les compétences nécessaires dans tous ces domaines. Il n'est donc pas rare de voir ces entreprises unir leurs efforts. La société taïwanaise VIA Technologies Inc. a par exemple annoncé en 2018 une alliance avec la jeune entreprise de vision numérique Lucid ayant pour but de doter des dispositifs munis de caméras multiples d'une capacité de détection de profondeur fondée sur l'intelligence artificielle, qui sera utilisée dans les systèmes de sécurité, le commerce de détail, la robotique et les véhicules autonomes¹⁷. Ce n'est là qu'un exemple parmi tant d'autres de collaborations entre sociétés de haute technologie.

Plusieurs entreprises ont aussi décidé d'ouvrir l'accès à certaines de leurs données et technologies les plus précieuses, et cela, sans barrières de coût ou autres. Waymo a, par exemple, fait le choix de vendre l'un de ses trois types de capteurs LIDAR, le "Laser Bear Honeycomb", qui mesure les distances au moyen d'un laser, à des entreprises tierces intéressées à l'exploiter à des fins autres que le développement de véhicules autonomes. Selon certains, le capteur LIDAR va évoluer selon une courbe similaire à celle tracée par la loi de Moore pour les microprocesseurs – doublement de la résolution et division par deux du prix tous les 18 mois¹⁸ –, de sorte que le fait d'y donner librement accès ouvre la possibilité de développer à moindre coût.

La société Waymo met gratuitement à la disposition des chercheurs une partie des données recueillies par les capteurs haute résolution de sa flotte de voitures autonomes. Elle n'est pas la première à permettre le libre accès à un ensemble de données. En mars 2019, l'entreprise internationale de technologie Aptiv fut l'un des premiers grands opérateurs de véhicules autonomes à rendre publiques les données recueillies par ses capteurs. La société Uber et Cruise, une division autonome de General Motors, ont également mis leurs

Cartographier la participation des entreprises de véhicules autonomes

Figure 3.7 Exemples de sociétés actives dans les diverses technologies du véhicule autonome



Source: Center for Automotive Research (CAR).

outils de visualisation pour la conduite autonome à la disposition du public¹⁹.

Ces décisions s'inscrivent dans la ligne des stratégies d'innovation ouverte²⁰ qu'adoptent les entreprises pour faire face à des idées d'innovations particulièrement complexes.

Collaboration entre sociétés de technologie et constructeurs automobiles

L'arrivée de la technologie des véhicules autonomes ne signifie pas que les compétences des constructeurs traditionnels soient devenues complètement inutiles. De fait, les véhicules autonomes représentent – du moins pour l'instant – une sorte de discontinuité technologique qui a besoin des compétences de base des acteurs existants pour réaliser son objectif. Des recherches²¹ ont démontré qu'historiquement, les entreprises en place peuvent survivre à une telle discontinuité en coopérant avec les nouveaux entrants qui viennent remettre en question leurs compétences de base. La présence de "régimes d'appropriabilité" forts pousse les nouveaux entrants à accorder des

licences sur leurs technologies. Les textes²² définissent ces régimes comme des facteurs environnementaux – protection juridique (par exemple par brevet) ou savoirs difficiles à transmettre (tacites) ou à codifier – qui permettent aux sociétés de technologie de récupérer leur investissement.

La technologie du véhicule autonome présente des caractéristiques d'appropriabilité forte. Cela signifie pour les nouveaux entrants qu'ils peuvent collaborer avec les constructeurs traditionnels et en tirer des avantages sans craindre d'être imités²³. En ce qui concerne les constructeurs automobiles, les partenariats avec les entreprises de technologie leur permettent d'acquérir une meilleure connaissance des principales techniques qui transforment l'industrie et d'accélérer le processus d'apprentissage qui pourra les aider à rester compétitifs dans un environnement en pleine mutation.

S'il peut sembler logique pour un constructeur automobile de coopérer avec une entreprise de technologie, l'inverse n'est pas nécessairement vrai. Certains affirment même que les géants de la haute technologie n'ont pas besoin des constructeurs et finiront par prendre pied directement dans le secteur de l'automobile²⁴.

Il s'agit, selon eux, d'une question de moyens: les géants du Web comme Alphabet, Amazon et Apple, aux États-Unis d'Amérique, ou Alibaba, Baidu et Tencent en Chine ont tellement d'argent qu'ils peuvent assumer sans problème les coûts de conception et de fabrication d'une voiture. D'autres ne partagent pas cette opinion²⁵. Savoir maîtriser des opérations complexes de fabrication de masse, organiser des chaînes de valeur axées sur la qualité ou gérer une réglementation complexe n'a rien de banal ni de futile. Les pertes financières et les difficultés de livraison de la berline Model 3 du fabricant américain de véhicules électriques et de produits de stockage d'énergie Tesla sont d'ailleurs là pour en attester. L'écosystème dans lequel les constructeurs automobiles évoluent et veillent à leurs intérêts est également leur bastion. Il serait difficile pour les sociétés de haute technologie de remettre en question l'actuel système sociotechnique sans collaborer avec les constructeurs automobiles traditionnels, et cela, même si elles disposaient sur le plan technique de la capacité de produire des voitures.

Les sociétés de technologie ont donc tout avantage à collaborer avec les constructeurs et à apprendre quels sont les domaines dans lesquels leurs forces complètent celles de ces derniers. Cela permet, du moins au stade actuel de l'évolution de l'industrie, une répartition du travail dans laquelle chacune des parties se concentre sur ce qu'elle sait faire, ce qui représente la voie la plus rapide et la plus sûre vers le succès du véhicule autonome.

Les différents types de collaborations ne s'excluent pas mutuellement et coexistent. Un degré d'incertitude élevé incite les entreprises à parier simultanément sur plusieurs combinaisons de trois stratégies: développer, emprunter et acheter²⁶.

Une grande partie des informations relatives aux collaborations ci-dessus peut être absente des données des brevets ou des publications scientifiques. Cela est dû principalement au fait qu'elles figurent, dans la plupart des cas, dans des accords formels relatifs à des partenariats et alliances, coentreprises, investissements ou acquisitions. Sur plus de 100 accords recensés²⁷, la majorité concerne des rapprochements entre constructeurs automobiles et entreprises de technologie; viennent ensuite les accords entre sociétés de technologie, puis ceux conclus entre constructeurs automobiles. Dans un faible nombre de cas, enfin, ces accords portent sur des collaborations entre des sociétés de technologie et des organismes publics, nationaux ou régionaux. Par

exemple, la société Quadrobot de Détroit et la Poste chinoise ont conclu un accord de partenariat pour la production de camionnettes de livraison autonomes.

3.5 Rôle de la géographie dans la technologie du véhicule autonome

Répartition dans le temps

Voici quelques années encore, personne n'aurait associé des noms tels que Boston, San Francisco, Pittsburgh, Singapour ou Jérusalem à la filière de l'automobile. Les villes qui venaient généralement à l'esprit étaient plutôt Détroit, Toyota City au Japon et Stuttgart, en Allemagne. Mais les progrès qui ont fait de la robotique et de l'intelligence artificielle des technologies génériques²⁸, susceptibles de multiples applications dans divers secteurs, ont ouvert la voie à de nouveaux entrants. Ces derniers ont naturellement leur siège dans des hauts lieux de la technologie de pointe comme la Silicon Valley, aux États-Unis d'Amérique, et d'autres à travers le monde. Cela n'a pourtant pas empêché des villes telles que Singapour ou Jérusalem d'attirer par leur dynamisme la haute technologie et les startups, au point de devenir des centres extrêmement actifs dans le domaine du véhicule autonome alors qu'elles n'avaient aucun lien traditionnel avec l'industrie automobile.

L'examen historique de l'activité d'innovation dans le domaine du véhicule autonome permet de voir comment cette dernière a évolué géographiquement et s'est répandue à travers le monde. La figure 3.8 montre les régions dans lesquelles se concentraient le dépôt de brevets²⁹ et la publication d'articles scientifiques relatifs à cette technologie, avant et après 2005. Sans surprise, les régions qui dominaient traditionnellement le marché de l'automobile sont également celles dans lesquelles on constate une forte activité en matière de brevets au cours de la période antérieure à 2005. On voit toutefois que les dépôts de brevets de la Silicon Valley et de Singapour étaient, même alors, nombreux. Les domaines sur lesquels se concentraient à l'époque les gros des efforts étaient les systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS) et les systèmes de conduite automatisée (AHS), qui n'ont pas de lien direct avec les approches faisant intervenir l'intelligence artificielle ou la robotique. Les brevets en question portaient encore sur des techniques proches des modes de conduite traditionnels et concernaient pour l'essentiel les niveaux d'automatisation 1 ou 2 (voir figure 3.2).

On observe ensuite que certains pays en développement dans lesquels la fabrication automobile n'est pas une industrie traditionnelle se lancent également dans cette technologie au cours des années suivantes. La nouveauté la plus notable est l'entrée en scène de la Chine et de l'Inde. Comme on l'a vu précédemment, cela peut s'expliquer en partie par le changement technologique, dans la mesure où l'essor des nouvelles techniques, notamment de l'intelligence artificielle et de la robotique, permet à des pays ou des régions n'ayant pas de liens anciens avec le secteur de l'automobile de sauter certaines étapes pour y accéder³⁰. Les principaux pays concernés restent néanmoins les États-Unis d'Amérique, le Japon, l'Allemagne, la République de Corée et la Suède, et ceux qui ont été les plus actifs récemment sont les États-Unis d'Amérique et la Chine.

L'examen des publications scientifiques permet de constater une augmentation de l'activité de production de recherche fondamentale et d'articles scientifiques des pays en développement du Moyen-Orient, d'Amérique latine et d'Afrique – une information qui ne ressort pas des données de brevet. La République islamique d'Iran est un bon exemple d'un pays très actif en matière de publication scientifique, mais dont la production de brevets est pratiquement nulle dans ce domaine. Les données relatives aux publications scientifiques complètent celles sur les dépôts de brevets pour donner une image plus précise du paysage de l'innovation en matière de technologie du véhicule autonome.

3.6 Véhicule autonome: les pays et les villes en tête de l'innovation

Amérique du Nord

Boston, Massachusetts

La ville de Boston n'est pas un pôle de compétence traditionnel du domaine de l'automobile. Elle abrite cependant le Massachusetts Institute of Technology (MIT), qui est depuis des années un chef de file mondial de la robotique, et a contribué à une concentration d'entreprises spécialisées dans l'application de cette technologie à la conduite autonome. L'une des grandes entreprises ayant décidé de tirer parti de la grappe industrielle de robotique de Boston pour le développement du véhicule autonome est la société Toyota, qui a choisi Cambridge pour y installer l'une des trois unités de son institut de recherche TRI (Toyota Research

Institute), les deux autres étant situées au Michigan et en Californie. Le TRI a conclu un partenariat avec le laboratoire d'informatique et de l'intelligence artificielle (CSAIL) du MIT, où des chercheurs travaillent sur divers aspects de l'application de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage par machine à l'automatisation des véhicules³¹.

Le MIT est à l'origine de plusieurs entreprises dérivées spécialisées en robotique, dont quelques-unes visent plus particulièrement le déploiement de véhicules autonomes. L'une de ces dernières, la société nuTonomy, a été rachetée en 2017 par Aptiv – un équipementier automobile international de premier rang³² dont les origines sont liées à la ville de Détroit et au constructeur General Motors³³. Aptiv a un centre de technologie à Boston, ainsi que d'autres à Pittsburgh et en Californie³⁴. nuTonomy réalise des essais à Boston et Singapour, où un organisme d'État, le Conseil de développement économique, a acquis des parts dans son capital³⁵. Une autre entreprise dérivée du MIT, la société Optimus Ride, a signé des partenariats avec plusieurs firmes de la Silicon Valley et constructeurs automobiles pour le déploiement de services de navettes autonomes à faible vitesse guidées par géorepérage dans des zones délimitées³⁶.

Détroit, Michigan

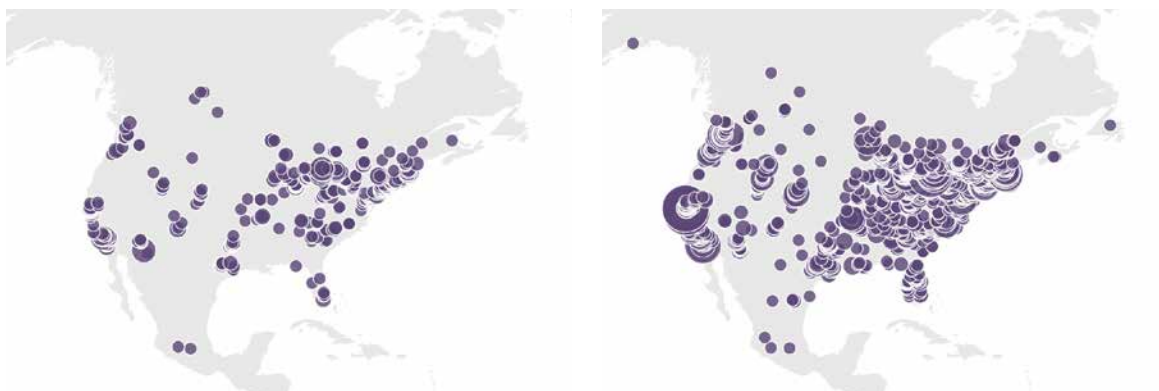
Détroit est le centre historique de l'industrie américaine de l'automobile. Les sociétés General Motors et Ford ont leur siège social et plusieurs centres de recherche dans la région métropolitaine de Détroit, et plusieurs constructeurs internationaux y sont également installés (Fiat Chrysler Automobiles (FCA), Hyundai/Kia et Toyota), ainsi que des douzaines d'équipementiers importants. Les constructeurs qui ont des activités sur le marché nord-américain ont presque tous une présence dans la région de Détroit.

L'État du Michigan n'est pas un haut lieu traditionnel de la robotique, mais il fait partie des régions les plus avancées dans le monde en matière de recherche, de développement, de conception et de fabrication de systèmes de pointe pour l'automobile. Si des firmes basées à Détroit ont ouvert des bureaux régionaux dans des centres de la robotique tels que Pittsburgh, Boston et la Silicon Valley, des startups axées sur la conduite autonome se sont installées à proximité de Détroit, afin de pouvoir tirer parti de l'expertise locale en matière d'ingénierie et de validation de systèmes

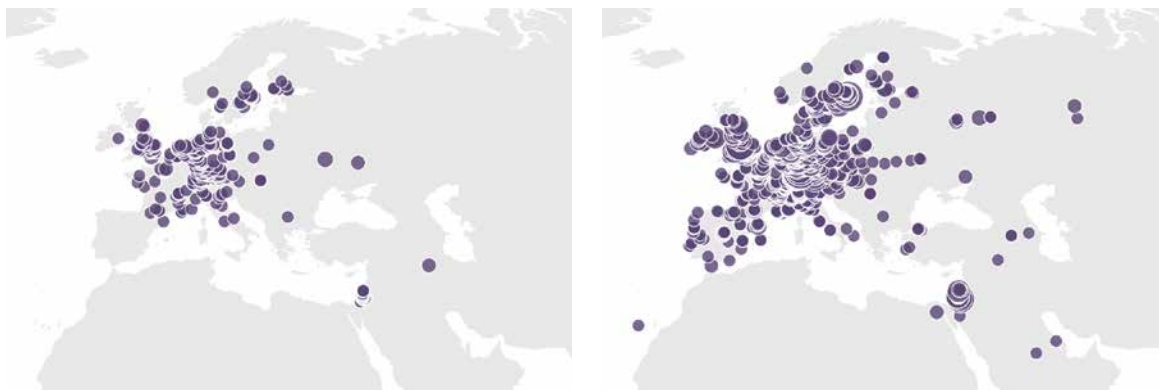
La présence de l'Asie de l'Est dans le secteur des véhicules autonomes s'est fortement renforcée au cours des dernières années

Figure 3.8 Répartition géographique des dépôts de brevets (cette page) et des publications d'articles scientifiques (page suivante) relatifs aux véhicules autonomes, avant 2005 (en haut) et après 2005 (en bas).

Amérique du Nord



Europe et Moyen-Orient



Asie de l'Est



■ BREVETS ■ PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT, du PCT et de *Web of Science* (voir les notes techniques).

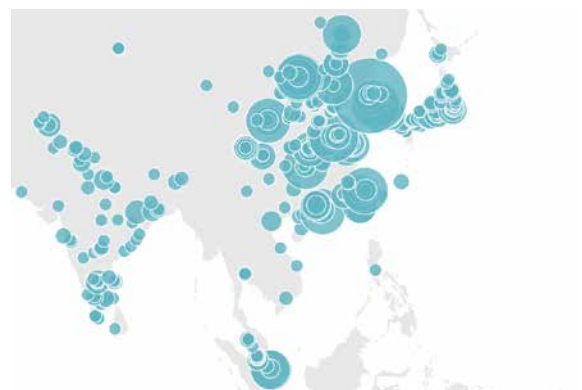
Amérique du Nord



Europe et Moyen-Orient



Asie de l'Est



fiables, susceptibles d'être utilisés dans le domaine de l'automobile. L'orientation prise par la technologie en faveur de l'automobile conduit aussi à une montée des investissements dans la construction d'installations de développement de logiciels dans la région de Détroit, dont certains particulièrement importants, de la part de Ford, General Motors et Toyota.

Waymo, peut-être l'entreprise la plus avancée en matière de développement de véhicules autonomes, a l'intention de rénover une usine historique de Détroit dans laquelle elle convertira divers véhicules en y intégrant son système de conduite³⁷. Waymo a conclu un partenariat avec Magna International, un équipementier de premier rang basé à Aurora, au Canada, qui dispose de nombreuses installations dans la région de Détroit³⁸. Avant ce partenariat avec Magna, Waymo avait passé un accord avec une autre grande société de la région, l'ingénieur Roush³⁹ qui a depuis élargi ses activités de génie des véhicules automatisés et ouvert un nouveau centre de recherche spécialisé dans l'intégration des systèmes et logiciels de conduite autonome⁴⁰.

Ontario (Canada)

L'intérêt porté aux systèmes de conduite automatisée a appelé l'attention sur les lieux dans lesquels se concentre le développement des logiciels et de l'intelligence artificielle. L'un des pôles de recherche qui en ont bénéficié est la province de l'Ontario, au Canada, où se trouvent notamment les villes de Toronto, Waterloo et Ottawa.

L'Ontario est depuis longtemps un pôle du secteur de l'automobile, notamment en raison de sa proximité avec Détroit. L'industrie logicielle a également une forte présence dans la province. L'université de Waterloo offre, par exemple, d'excellents programmes de mathématiques et d'informatique. Elle abrite également un Centre de recherche automobile (WatCAR), dans lequel différents groupes travaillent sur la technologie des véhicules avancés et de la mobilité⁴¹. L'université de Toronto propose aussi des programmes consacrés à l'automatisation, à la connectivité et à la cybersécurité des véhicules⁴².

Pittsburgh, Pennsylvanie

L'université Carnegie Mellon (CMU) de Pittsburgh est un centre de la technologie de la conduite autonome

depuis des décennies. Ce sont ses chercheurs qui ont réalisé en 1986 l'essai du tout premier prototype de système de conduite automatisée sur route, le projet Navlab 1⁴³, suivi de Navlab 2 en 1990. Des équipes de la CMU se sont également distinguées dans les défis DARPA, qui ont contribué à la naissance de l'ère de recherche sur le véhicule autonome que nous vivons aujourd'hui⁴⁴. D'une certaine manière, le programme de robotique de l'université Carnegie Mellon a été victime de son succès, car il y a perdu des douzaines de ses chercheurs les plus établis au profit d'entreprises de conduite autonome nouvellement créées. L'exemple le plus marquant, à cet égard, est celui d'Uber qui, après avoir signé un accord de partenariat stratégique avec l'institution et ouvert un centre de recherche à proximité, a fini par débaucher plus de 50 de ses chercheurs⁴⁵.

L'université Carnegie Mellon a aussi donné naissance à plusieurs startups spécialisées dans les véhicules autonomes, notamment la société Argo.AI, dans laquelle Ford a pris une participation en annonçant le lancement d'un service de taxi robot en 2021⁴⁶. La société nuTonomy de Boston, qui a une présence à Pittsburgh, est actuellement en pleine expansion. Elle a été rachetée par l'équipementier de premier rang Aptiv. De nombreux transfuges du programme de robotique de la CMU sont aujourd'hui éparpillés dans la diaspora de la conduite autonome, y compris quelques-uns des noms les plus importants de ce secteur, comme on l'a vu précédemment. Les travaux de l'Institut de robotique de l'Université Carnegie Mellon se poursuivent, quoique la part consacrée à l'automatisation de la conduite soit moins importante que par les décennies passées⁴⁷. Parallèlement, la ville de Pittsburgh est devenue l'un des centres d'essai sur route et d'élaboration de prototypes de véhicules autonomes les plus importants au monde⁴⁸.

Silicon Valley, Californie

On pourrait croire, aujourd'hui, que la Silicon Valley (la région qui entoure San Francisco, en Californie) a toujours été au centre de l'industrie du véhicule autonome. En fait, tout a commencé lorsque la société Google (maintenant Waymo) s'est intéressée au concept de voiture sans conducteur à la suite des Grands défis DARPA. Google a entrepris en 2009 de recruter des participants de ces compétitions, dont le responsable de l'équipe de l'université Carnegie Mellon, Chris Urmson, qui est devenu directeur de la technologie pour son projet. D'autres chercheurs

étaient disponibles sur place, l'université Stanford ayant un programme de recherche sur la robotique et la conduite automatisée d'un niveau équivalent à celui de Carnegie Mellon, et donc sans autre égal dans le monde.

Google annonça son projet de conduite autonome en 2010, par une vidéo percutante dans laquelle un homme non-voyant était conduit jusqu'à un restaurant Taco Bell dans une voiture sans conducteur. Si le film ne montrait pas l'étendue des préparatifs qui avaient été nécessaires pour faire cette démonstration, il révélait un degré d'automatisation de la fonction de conduite qui surprit l'industrie de l'automobile et déclencha, tant parmi les traditionalistes de l'industrie que de la part d'entreprises nouvellement créées, une ruée pour rattraper le temps perdu et se joindre à la course vers la voiture automatisée.

Le projet de voiture autonome de Google a été, avec l'existence sur place d'un bassin d'ingénieurs en intelligence artificielle et en logiciels, le catalyseur qui a fait de la Silicon Valley un chef de file mondial en matière de conduite autonome.

Il serait difficile de dire précisément combien d'entreprises travaillent actuellement sur des projets de conduite autonome dans la Silicon Valley. On sait tout au moins qu'au début de l'année 2019, l'instance chargée de l'enregistrement des véhicules à moteur en Californie (California Department of Motor Vehicles) avait délivré à 62 entités des permis autorisant la mise à l'essai de systèmes de conduite automatisée sur le réseau routier de l'État⁴⁹.

Chine

Les trois vagues de bouleversements technologiques précédemment évoquées (véhicule autonome, mobilité en tant que service et véhicule connecté) ont été autant de portes ouvertes pour les entreprises du secteur chinois de l'automobile qui, contrairement aux multinationales étrangères, n'étaient pas désavantagées par des héritages du passé⁵⁰. Cela étant, en Chine comme ailleurs, ce sont des géants locaux de la haute technologie qui ont la haute main sur le secteur de l'automobile. Ces derniers, par exemple Baidu, avec son moteur de recherche, la société de commerce électronique Alibaba et les sociétés de services de voitures de transport avec chauffeur Didi Chuxing, Dida et Ucar sont à peu près sur un pied d'égalité avec leurs homologues

étrangères. En matière de connectivité, le système CarLife de Baidu – qui permet de commander les fonctions d'info-divertissement d'une voiture à partir d'un téléphone mobile – existe et fonctionne depuis 2015. Baidu a un assistant vocal nommé DuerOS. Alibaba, pour sa part, a créé AliOS, un système d'exploitation embarqué, et l'assistant intelligent Tmall Genie. Tencent un autre géant de la haute technologie, a son propre système, nommé "AI in Car".

La Chine a en outre annoncé, en 2017, un Plan de développement de la prochaine génération d'intelligence artificielle⁵¹ qui démontre sa volonté de devenir un chef de file mondial dans ce domaine, ainsi qu'en matière de technologie d'automatisation de la conduite. La Chine investit aussi massivement dans la construction d'infrastructures, de routes et de rues permettant la circulation de véhicules connectés et autonomes. Les rues d'E-Town, à Beijing⁵² font partie d'un ensemble de 44 voies totalisant 123 km, sur lesquelles les essais de voitures autonomes sont permis. En dehors de Beijing, des essais poussés sont également effectués dans 15 autres villes de Chine, dont Shanghai, Shenzhen et Guangzhou dans la province de Guangdong, Hangzhou dans la province du Zhejiang, Wuhan dans la province du Hubei et Chongqing⁵³.

Baidu, Pony.ai et WeRide sont les leaders de la technologie de conduite automatisée en Chine⁵⁴. Aucun d'eux, toutefois, y compris Baidu, n'est encore considéré comme faisant partie des 10 premiers dans le monde. En Californie, les véhicules d'essai de Baidu ont nécessité une intervention humaine par 66 km parcourus, alors que pour les véhicules de Waymo, cela n'a été nécessaire qu'une fois tous les 9005 km⁵⁵. La plateforme de véhicules autonomes Apollo de Baidu a néanmoins attiré plus de 100 partenaires du monde entier. Apollo offre un système de simulation de conduite autonome, des données d'essai relatives aux véhicules et des cartes haute résolution⁵⁶. CarLife et DuerOS font partie intégrante d'Apollo. Baidu a en outre annoncé son intention de déployer, en 2019, des taxis autonomes dans des zones délimitées de Changsha, dans la province du Hunan⁵⁷. Si Baidu accapare le gros de l'attention et des investissements consacrés au marché chinois de la conduite autonome, sept autres entreprises se sont manifestées depuis que le gouvernement municipal de Beijing a commencé à demander des rapports sur les essais de véhicules automatisés effectués dans les rues de la ville⁵⁸. De nombreuses entreprises chinoises dont Baidu sont aussi installées dans la Silicon Valley⁵⁹.

Les sociétés Baidu, NIO, Tencent, Alibaba, FAW, SAIC, ChangAn, BAIC, Great Wall, GAC, Dongfeng, Geely, BYD et Lifan font partie des entreprises chinoises qui ont commencé à essayer leurs véhicules autonomes en Chine. De son côté, Waymo a créé une filiale à Shanghai, mais les activités pour lesquelles celle-ci est enregistrée se limitent au conseil en logistique et à la conception de chaînes d'approvisionnement et de produits et pièces pour véhicules autonomes, et ne mentionnent pas le développement des véhicules autonomes proprement dits⁶⁰.

Japon

Le développement de la voiture autonome a tardé à prendre son essor au Japon, notamment en raison de lois particulièrement restrictives en matière de conduite automatisée. La perspective des Jeux olympiques de 2020 a toutefois donné lieu à une explosion d'activité destinée à mettre en valeur les progrès accomplis par le pays dans ce secteur. Le Japon a entrepris d'assouplir les contraintes imposées aux voitures autonomes dans sa législation, et prévoit la mise en service de navettes autonomes Toyota pour assurer le transport des athlètes sur le campus olympique pendant la durée des Jeux. La société Toyota est devenue, de toute évidence, un élément important de l'entrée du Japon dans l'aventure de la conduite autonome, mais elle fait bien plus, avec d'autres entreprises japonaises, que de participer à la préparation des Jeux olympiques.

Au Japon même, Toyota a formé un partenariat avec la firme japonaise Softbank – principalement connue pour son fonds d'investissement de 100 milliards de dollars spécialisé dans les entreprises à croissance rapide des nouvelles technologies Vision Fund – pour créer une coentreprise nommée MONET, qui se consacrera au développement de solutions technologiques de conduite sans chauffeur et de mobilité en tant que service à Tokyo. MONET compte également les constructeurs automobiles Honda et Hino parmi ses investisseurs. Waymo a signé un accord avec l'alliance franco-japonaise Renault-Nissan, pour amener ses services de mobilité autonome en France et au Japon. Par ailleurs, la société de véhicules autonomes ZMP et l'entreprise de taxis Hinomaru Kotsu, toutes deux japonaises, ce sont rapprochées pour développer un taxi autonome qui devrait être prêt à temps pour les Jeux olympiques de 2020. Les sociétés privées n'occupent cependant pas toute la place sur la scène japonaise du véhicule autonome. L'université de Tokyo et l'université

Keio travaillent toutes deux sur des projets de développement de technologies avancées de mobilité pour les véhicules autonomes.

Sur le plan international, Toyota occupe, une fois encore, la place d'acteur principal. La société a conclu des accords de partenariat et d'investissement favorisant le progrès de la conduite autonome dans le monde entier, avec une foule d'entreprises comprenant notamment Uber, May Mobility, Hui, Grab, Getaround, Nvidia et AT&T. Par ailleurs, toujours à l'international, Softbank a investi 2,25 milliards de dollars É.-U. dans la firme de taxis robots Cruise Automation, filiale de General Motors, et a participé à la levée d'un financement d'un milliard de dollars É.-U. au profit de la division de véhicules automobiles d'Uber. La société chinoise Sense Time, l'une des startups de l'intelligence artificielle les plus valorisées au monde, a ouvert un centre d'autopilotage à Joso, près de Tokyo.

Royaume-Uni

Le Royaume-Uni a une position bien établie en tant que plaque tournante de l'automobile et des talents d'ingénierie. Son gouvernement porte un vif intérêt aux voitures autonomes, et a pris des initiatives consistant à s'appuyer sur les capacités en place pour maintenir une contribution significative à l'industrie naissante du véhicule autonome. Le projet UK Autodrive, par exemple, avait pour but de financer les essais de prototypes de véhicules automatisés fabriqués par plusieurs constructeurs⁶¹. Le consortium UK CITE est un groupe conduit par des entreprises du secteur qui se consacre à la technologie des véhicules connectés, en visant cependant l'automatisation⁶². Le Royaume-Uni a en outre publié un document consultatif sur les règles à observer pour effectuer des essais de technologies de conduite automatisée sur les voies publiques⁶³.

Le Royaume-Uni a également bénéficié de programmes de recherche financés par l'Union européenne, tels que le projet EU GATEway. Ce projet a fourni à la société britannique Oxbotica – une entreprise dérivée de l'université d'Oxford – un soutien financier pour un projet consistant à faire circuler de façon autonome une navette à basse vitesse sur un parcours mixte⁶⁴. Un autre projet réalisé au Royaume-Uni portait sur la mise au point par un équipementier britannique, le groupe RDM, d'un taxi robot automatisé⁶⁵ se déplaçant sur des voies de guidage spécialement construites. Ce projet a conduit RDM à créer une société dérivée

indépendante, Aurrigo, qui est maintenant établie aux États-Unis d'Amérique, au Canada et en Australie⁶⁶.

Depuis qu'Alan Turing y a inventé la "machine à calculer universelle" à King's College en 1936, la ville de Cambridge est un centre mondial de l'intelligence artificielle⁶⁷. C'est également à Cambridge que se trouve le siège de la société ARM, un chef de file mondial dans le domaine des processeurs à haute performance qui s'intéresse également à la conduite automatisée⁶⁸.

D'autres universités du Royaume-Uni sont fortement investies dans l'élaboration de pôles axés sur les véhicules autonomes. Les universités de Warwick, Birmingham et d'autres contribuent à l'apport de talents permettant d'alimenter de tels pôles. L'université d'Oxford peut s'enorgueillir d'un programme de robotique d'une qualité exceptionnelle et a donné naissance, comme on l'a vu précédemment, à la société Oxbotica.

France

L'industrie française de l'automobile fait sa part pour rester dans la course à la mise au point de la prochaine génération de véhicules automatisés. Renault a promis de produire dès 2021 des véhicules se conduisant de façon autonome et ne nécessitant pas l'attention du conducteur⁶⁹. Le Groupe PSA (dont les marques comprennent notamment Peugeot, Citroën et DS) continue à travailler sur son programme AVA ("Autonomous Vehicle for All")⁷⁰. PSA effectue des essais de conduite autonome sur route en Europe et en Chine⁷¹. L'équipementier international de premier rang Valeo investit lui aussi massivement dans la technologie d'automatisation de la conduite⁷². Valeo construit actuellement à Paris un centre de recherche consacré à l'intelligence artificielle, et a conclu de multiples accords de partenariats de recherche. Ces initiatives ont été favorisées par un effort national visant à faire de la France un acteur majeur dans le domaine de l'intelligence artificielle⁷³.

Plusieurs entreprises ont effectué des douzaines d'essais de navettes autonomes à basse vitesse en Europe. La France est un foyer de la recherche et du développement de navettes autonomes. Navya, l'une des sociétés les plus importantes et les plus connues dans ce domaine, a été fondée en France en 2014. Elle a lancé des projets pilotes de navettes autonomes dans le monde entier, et est également installée dans le Michigan. Le nombre de navettes construites par

cette société dépasse largement la centaine⁷⁴. Plusieurs sont opérées par Keolis, une société privée française spécialisée dans l'exploitation de réseaux de transport en commun⁷⁵.

La société EasyMile est un autre des principaux constructeurs de navettes autonomes dans le monde. Elle a été fondée à Toulouse en 2014, dans la foulée du projet européen CityMobil 2. Plus de 100 navettes EasyMile ont été produites et ont fait l'objet d'expérimentations à travers le monde⁷⁶. La gestion d'un grand nombre de ces expérimentations est assurée par TransDev, un autre exploitant privé français de réseaux de transport public⁷⁷. TransDev a également conclu un partenariat avec la société Torc Robotics, des États-Unis d'Amérique, pour effectuer des essais de navettes autonomes en France⁷⁸.

De nombreuses entreprises françaises cherchent à se développer sur le marché nord-américain⁷⁹. Si bon nombre d'entre elles restent de taille modeste, dans le domaine du véhicule autonome, elles démontrent souvent leurs ambitions internationales par des accords de partenariat avec d'autres entreprises et institutions.

Allemagne

À l'exception, peut-être, des États-Unis d'Amérique, l'Allemagne ne le cède à aucun autre pays en tant que source d'innovation et de développement de technologie de conduite autonome. Dans les années 1980, les résultats obtenus par le programme de recherche européen PROMETHEUS égalaient ceux des recherches financées par la DARPA, confirmant la position d'institutions allemandes telles que l'université de la Bundeswehr à Munich (UBM) en tant que foyers d'expertise en matière d'intelligence artificielle et de conduite autonome⁸⁰. Le programme PROMETHEUS a notamment permis la mise au point par Mercedes-Benz du tout premier système commercial de conduite automatisée de niveau 2, qui comprenait des fonctions telles que l'assistance au guidage, au freinage et à l'accélération⁸¹.

Les constructeurs automobiles allemands, notamment Daimler, BMW et Volkswagen, préparent une nouvelle ère de mobilité autonome partagée en multipliant les alliances, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'Allemagne. Loin de se limiter à des partenariats de recherche ou à des collaborations financières, les accords qu'ils passent portent également sur la création de

consortiums importants⁸². L'industrie allemande de l'automobile est parmi celles qui ont fait le plus grand nombre d'annonces concernant la mise à la disposition du public de fonctions de conduite automatisée. La marque Audi du constructeur Volkswagen a annoncé que le modèle 2018 de son Audi A8 serait doté en option d'un système "Traffic Jam Pilot"⁸³ de niveau 3, permettant une conduite hautement automatisée. La compagnie a toutefois annoncé par la suite que le lancement de cette fonctionnalité était retardé par des obstacles réglementaires⁸⁴. Mercedes a annoncé un système de conduite automatisée de niveau 3 pour la version 2020 de sa grande berline Classe S⁸⁵, et BMW prévoit commercialiser une voiture autonome en 2021⁸⁶.

Les équipementiers de premier rang allemands sont également très actifs dans ce domaine. Le fabricant de pneumatiques Continental produit depuis longtemps des composants pour l'automatisation de la conduite automobile, et a même construit sa propre navette autonome⁸⁷. Continental envisage également de fournir une plateforme de conduite autonome aux constructeurs automobiles⁸⁸. La compagnie allemande ZF prépare depuis des années, par des accords de partenariat et des rapprochements, son intégration dans la chaîne mondiale d'approvisionnement des véhicules autonomes; elle travaille également à la mise au point d'un prototype de véhicule autonome⁸⁹. Bosch est un autre des équipementiers de premier rang qui visent une place de fournisseur de technologies pour les véhicules autonomes; cette société a notamment créé une alliance avec Daimler, dont les futurs véhicules seront équipés de ses produits⁹⁰. L'évolution de ce groupe d'entreprises a permis la naissance de plusieurs douzaines de startups spécialisées dans la conduite autonome et la mobilité⁹¹.

Israël

La concentration d'entreprises de haute technologie dans ce petit pays est remarquable. Une étude effectuée au milieu de l'année 2018 a, par exemple, rapporté que près de 1000 startups israéliennes utilisaient une technologie d'intelligence artificielle ou travaillaient à en développer une, et que plus d'une douzaine de nouvelles firmes de ce type étaient créées chaque mois⁹². Il y a déjà un certain temps que des entreprises internationales des domaines de l'intelligence artificielle et des logiciels s'installent en Israël afin de pouvoir bénéficier de cet écosystème, et l'industrie de l'automobile a suivi leur exemple. La société General Motors, par

exemple, a eu un temps la particularité de ne pas avoir de présence notable dans la Silicon Valley (ce qui n'est plus le cas depuis qu'elle a racheté Cruise Automation), mais d'avoir établi en 2008 puis agrandi en 2016 un centre de recherche sur la technologie des véhicules autonomes, en Israël⁹³. Plusieurs autres constructeurs automobiles ont ouvert ou agrandi des centres de recherche en Israël depuis 2016⁹⁴.

La société israélienne qui est peut-être la plus connue pour la contribution qu'elle apporte à l'écosystème mondial du véhicule autonome est Mobileye, qui fournit des dispositifs d'aide visuelle à la conduite à de nombreux constructeurs automobiles. Mobileye a été fondée en 1999, est entrée en Bourse en 2014 et a été rachetée en 2017 par Intel, pour 15 milliards de dollars É.-U. Fournisseur établi, Mobileye estime que plus de 27 millions de véhicules de 25 marques différentes sont équipés de ses produits⁹⁵. La société, qui est aujourd'hui le visage de la présence d'Intel dans la chaîne d'approvisionnement de l'automobile, s'est lancée sérieusement à la conquête de la conduite complètement autonome. Intel a annoncé un partenariat avec la société israélienne Champion Motors et le constructeur Volkswagen, en vue de la commercialisation, dès 2022, de taxis sans conducteur en Israël⁹⁶. Au-delà de son rôle de fournisseur, le duo Intel-Mobileye élargit et internationalise de plus en plus son cercle de partenaires stratégiques en matière de recherche-développement⁹⁷.

3.7 La technologie du véhicule autonome est-elle en train de modifier la géographie de l'innovation dans l'industrie automobile?

L'innovation a une dimension géographique⁹⁸. La recherche a démontré que les industries ont tendance à s'installer à proximité les unes des autres (voir les chapitres 1 et 2). Les deux catégories d'acteurs de l'industrie automobile – les constructeurs traditionnels et les nouveaux entrants – ont, pour leur part, leurs propres pôles géographiques. Les nouveaux entrants se concentrent, à travers le monde, autour de pôles de haute technologie comme la Silicon Valley, tandis que les constructeurs traditionnels sont solidement établis dans leurs pôles de production (par exemple Détroit). La grande question est de savoir si l'émergence du véhicule autonome a poussé les constructeurs et les entreprises de haute technologie à rechercher une plus grande proximité géographique, et si oui, dans quelle

direction : les constructeurs se sont-ils rapprochés des pôles de haute technologie ou est-ce l'inverse ?

S'il est trop tôt pour répondre de façon précise, les informations tirées des données de brevets peuvent apporter quelques éléments de réponse. La présente section est fondée sur les brevets des grandes entreprises internationales de l'industrie automobile de trois régions géographiques : les États-Unis d'Amérique (Ford et General Motors), l'Allemagne (Daimler, BMW, Audi, Volkswagen et Bosch) et le Japon (Toyota, Honda et Nissan). Les brevets contenus dans les portefeuilles de ces entreprises ont tous été examinés, et ceux qui avaient rapport à la technologie des véhicules autonomes ont été recensés. Cette information a ensuite été utilisée pour calculer la part du total des brevets de chaque entreprise qui était attribuable à chacun des sièges de cette dernière, ainsi que la part des brevets relatifs aux véhicules autonomes. Ainsi, la société Daimler a, par exemple, déposé 72,6% de tous ses brevets à Stuttgart, et 76,9% de ses brevets relatifs aux véhicules autonomes ont également été déposés dans cette ville.

Les constructeurs automobiles déposent toujours le gros de leurs brevets de véhicules autonomes à leurs sièges principaux, qui sont également le lieu où ils effectuent la majorité de tous leurs dépôts de brevets. On constate cependant des variations importantes. Plus de 82% de l'ensemble des brevets des constructeurs japonais et de leurs brevets relatifs aux véhicules autonomes sont concentrés à leurs principaux sièges, au Japon, ce qui est de loin supérieur à ce que font les deux entreprises américaines, comme on peut le voir sur le tableau 3.1 ci-dessous.

Un rapide coup d'œil aux lignes correspondant aux sièges secondaires révèle quelques différences intéressantes. Un certain nombre de sièges comme San Jose, Berlin, Los Angeles et Osaka sont en effet plus spécialisés dans le domaine des véhicules autonomes (en ce sens que la part des brevets de véhicules autonomes à qui y sont déposés est importante par rapport à leur part de l'ensemble des brevets). En ce qui concerne Volkswagen, par exemple, San Jose et Berlin ont respectivement 16,1 et 9,7% des brevets de véhicules autonomes, mais seulement 1 et 4,8% des brevets en général⁹⁹.

Le même exercice a été effectué pour vérifier si les entreprises de haute technologie s'étaient déplacées pour se rapprocher des constructeurs automobiles¹⁰⁰.

Les entreprises sélectionnées étaient Google, Waymo, Delphi, Mobileye, DeepMap, Magna Electronics, Qualcomm, Uber et Apple. Aucune tendance systématique à un rapprochement vers les sièges de constructeurs automobiles n'a été constatée. Comme dans le cas des constructeurs, le gros des dépôts de brevets en général et de brevets relatifs aux véhicules autonomes s'effectuait au même siège principal.

La répartition géographique des dépôts de brevets relatifs aux véhicules autonomes de la société Uber est intéressante, car celle-ci n'effectue pas la majorité de ces derniers dans la Silicon Valley, alors que 39,6% de tous ses brevets sont déposés à San Francisco. Environ 48,5% des brevets d'Uber relatifs aux véhicules autonomes sont déposés à Pittsburgh, c'est-à-dire dans la ville où se trouvent l'université Carnegie Mellon et les chercheurs que la société a recrutés et avec lesquels elle a collaboré. C'est également à Pittsburgh qu'Uber effectue ses essais de véhicules autonomes depuis la fin de l'année 2018.

Ces résultats indiquent qu'à quelques glissements géographiques près, l'innovation se concentre toujours en grande partie autour du siège principal des entreprises, qu'il s'agisse de constructeurs automobiles ou de sociétés de haute technologie. Toutefois, bien qu'intéressante, cette information doit être utilisée avec prudence. Les données sont très limitées, en particulier en ce qui concerne les brevets relatifs aux véhicules autonomes, et cela peut fausser le portrait d'ensemble. Qui plus est, la publication des données de brevet intervient au moins 18 mois après le premier dépôt, alors que l'innovation proprement dite a pu être mise au point des mois, sinon des années, avant ce dépôt. Enfin, les résultats ont pu être affectés pour certaines entreprises par des ambiguïtés de noms.

3.8 Incidences positives et négatives possibles des véhicules autonomes

Si les attentes qu'il suscite sont très élevées, il est certain qu'il faudra encore plusieurs années, voire décennies, avant que le véhicule complètement autonome soit une réalité¹⁰¹. De multiples progrès technologiques intimement liés les uns aux autres imposent de nouvelles règles à une industrie qui n'a pas changé sa façon de faire les choses depuis près d'un siècle. Bien que leurs motivations diffèrent, les principaux acteurs de la haute technologie et du secteur traditionnel de

À quelques glissements géographiques près, l'innovation se concentre toujours en grande partie autour du siège principal des constructeurs automobiles et des entreprises de haute technologie

Tableau 3.1. Comparaison entre la part du total des brevets et la part des brevets relatifs aux véhicules autonomes déposés par certains constructeurs automobiles à leurs différents sièges

Nom du siège	Part du total (%)	Part des brevets relatifs aux véhicules autonomes (%)	Nom du siège	Part du total (%)	Part des brevets relatifs aux véhicules autonomes (%)
Audi			GM		
Ingolstadt	60,1	60	Détroit-Ann Arbor	45,3	54,7
Munich	10,7	18,8	Waterford	5,1	11,3
Francfort	3,9	6,2	Los Angeles	4,5	8,5
San Jose–San Francisco	0,4	6,2	Francfort	16,6	7,5
BMW			Honda		
Munich	72,5	84,1	Tokyo	90,8	82,3
Nuremberg	1,3	6,1	Los Angeles	0,2	3,7
Wurtzbourg	0,4	3,7	Osaka	2,6	2,4
San Jose–San Francisco	0,4	3,7	Nagoya	3,1	1,8
Bosch			Nissan		
Stuttgart	69,1	77,6	Tokyo	97,0	87,7
Munich	2,6	5,0	Osaka	1,5	8,6
San Jose–San Francisco	1,0	4,6	San Jose–San Francisco	0,0	3,1
Brunswick	0,5	4,1	Nagoya	1,2	2,5
Daimler			Toyota		
Stuttgart	72,6	76,9	Nagoya	95,4	93,7
Ulm	5,8	7,4	Tokyo	5,4	5,2
Francfort	5,1	4,1	Osaka	2,3	3,0
Aix-la-Chapelle	0,7	4,1	Shizuoka	0,2	1,1
Ford			Volkswagen		
Détroit-Ann Arbor	65,0	71,5	Wolfsburg	47,9	46,8
Cologne–Dusseldorf	8,8	6,6	Brunswick	37,1	40,3
San Jose–San Francisco	1,4	3,6	San Jose–San Francisco	1,0	16,1
Aix-la-Chapelle	4,8	2,9	Berlin	4,8	9,7

Note: La somme des pourcentages peut être supérieure à 100%, dans la mesure où un même brevet peut être attribué à deux sièges différents, et donc être compté deux fois.

l'automobile unissent leurs ressources pour parvenir à l'objectif de la voiture sans conducteur. Toutefois, les obstacles à surmonter pour cela ne sont pas seulement techniques. Tout choc technologique donne initialement lieu à une certaine inertie sociotechnique, en ce sens que l'introduction d'une nouvelle technologie nécessite des changements organisationnels qui se répercutent sur le rapport de l'humain à cette dernière. Il arrive

souvent que le changement ne soit pas le bienvenu. L'industrie automobile s'inscrit actuellement – par son pouvoir de marché et sa position sociale et politique, par exemple – dans un écosystème très fort, qui est installé depuis des décennies. La probabilité de voir évoluer cet écosystème est plutôt faible, à moins que les principaux acteurs du secteur ne changent (autrement dit, que les constructeurs automobiles actuels ne

disparaissent ou que le marché ne soit complètement repris par les entreprises de haute technologie), que l'on n'assiste à une transformation radicale des politiques et règlements ou que les consommateurs ne modifient fondamentalement leurs exigences et préférences. Qui plus est, l'opinion publique est encore partagée sur la question des véhicules autonomes.

Les défenseurs de la conduite automatisée estiment que cette technologie permettra de résoudre de graves problèmes urbains. Elle pourrait, par exemple, réduire les embouteillages et la pollution de l'air et améliorer la sécurité sur les routes. La précision accrue des trajectoires des véhicules et l'élimination des erreurs humaines peuvent réduire le nombre des victimes de la route. Les véhicules connectés "intelligents" ont, en effet, la capacité de se suivre sans risque de beaucoup plus près, en convois dits "pelotons". La mise en œuvre simultanée de cette méthode et de systèmes routiers automatisés devraient permettre une augmentation de la capacité routière et conduire à d'autres gains d'efficacité tels qu'une réduction de la consommation de carburants et une amélioration de l'économie énergétique, ce qui constituerait donc aussi un progrès pour l'environnement.

Les conducteurs n'auraient plus besoin de gaspiller des heures "derrière le volant" et pourraient consacrer le temps ainsi économisé à se détendre, travailler ou même dormir. Les enfants et les personnes âgées ou handicapées pourraient jouir d'une plus grande indépendance et d'une mobilité accrue. Les terrains aujourd'hui utilisés pour le stationnement pourraient être consacrés à d'autres usages.

L'enthousiasme à l'égard des véhicules autonomes n'est toutefois pas toujours partagé. L'accident dans lequel un véhicule fonctionnant en mode autonome dans le cadre d'un essai a causé la mort d'une piétonne en Arizona, en 2018, a été un énorme revers. Certaines entreprises ont suspendu temporairement leurs essais. Quel que soit le niveau atteint sur le plan technologique, le grand public n'est peut-être pas encore prêt pour une diffusion généralisée des véhicules sans conducteur. Certains critiques doutent que ces derniers puissent réellement résoudre des problèmes urbains tels que les embouteillages et la pollution. Ils se demandent si cette nouvelle technologie n'aurait pas simplement pour effet d'augmenter le nombre de véhicules présents sur les routes, et donc la congestion. De plus, l'automatisation de la fonction de conduite pourrait inciter les banlieusards à aller travailler encore plus loin en voiture

au lieu de prendre un train, ce qui est moins polluant. La protection de la vie privée et la cybersécurité sont également des préoccupations importantes. Les informations recueillies sur les conducteurs par des véhicules autonomes connectés et autres applications de "systèmes de transport intelligents" pourraient être utilisées à des fins n'ayant aucun rapport avec la conduite. Le risque de voir des pirates accéder illégalement au système et modifier des informations ou l'identité d'un véhicule est l'une des multiples préoccupations graves en matière de sécurité. Les systèmes juridiques et réglementaires ont déjà de la difficulté à suivre le rythme des changements qui s'opèrent dans le secteur de l'automobile. On ne sait pas encore exactement qui, de l'exploitant du logiciel, du constructeur du matériel et du concepteur de la plateforme de mobilité, doit être tenu responsable en cas d'accident.

Par ailleurs, tous les pays et régions ne sont pas au même niveau en ce qui concerne la mise en place des infrastructures nécessaires pour recevoir les véhicules autonomes. Les différences de degré de préparation peuvent accentuer les inégalités entre différentes parties d'un même pays selon leur richesse respective, ou entre régions. Tous ces changements se répercuteront dans d'autres secteurs, tels que les assurances, la mécanique automobile, le camionnage ou le taxi. Les incidences de la technologie du véhicule autonome s'étendent au-delà des frontières d'une seule industrie.

Tant que le monde de l'automobile et celui de la haute technologie n'auront pas trouvé réponse à toutes ces questions techniques, éthiques, juridiques et de sécurité, le véhicule autonome restera du domaine du rêve.

Notes

- 1 La présente section se fonde sur Dziczek *et al.* (2019).
- 2 Dans ce chapitre, les termes tels que “véhicule autonome”, “automoteur”, “sans conducteur”, etc. sont utilisés de manière interchangeable et désignent le même phénomène.
- 3 Voir Tendances technologiques 2019 – Intelligence artificielle (en anglais seulement).
- 4 Voir Tripsas (1997) pour les stratégies internes de développement du savoir, Zucker et Darby (1997) pour le recrutement de capital humain, Rothaermel (2001) pour les alliances stratégiques, Higgins et Rodriguez (2006) pour l’acquisition de nouveaux entrants, et Rothaermel et Hess (2007) pour des combinaisons de ces stratégies.
- 5 Voir Klepper (1997), Audrestsch et Feldman (1996), Abernathy et Utterback (1978), Jovanovic et MacDonald (1994).
- 6 Voir Abernathy et Clark (1985) et Klepper (1997).
- 7 Voir Klepper (1997).
- 8 Voir Global EV Outlook (2019).
- 9 Voir Prahalad et Hamel (1997).
- 10 Voir Zehtabchi (2019) pour des informations plus détaillées sur les brevets relatifs aux véhicules autonomes et les stratégies de recherche de publications scientifiques.
- 11 Voir Intel (n.d.).
- 12 Technologies : électronique, TIC, semi-conducteurs et audiovisuel. Technologies automobiles : instruments, matériel, machines, moteurs et transport, ingénierie civile. Autres technologies : biopharmaceutique, chimie, environnement et produits de consommation.
- 13 Voir Zehtabchi (2019).
- 14 Voir Hummel (2019).
- 15 Voir Reuters (2019).
- 16 On entend par “pile technologique” la liste de tous les outils et de toutes les technologies utilisés pour fabriquer un produit et le faire fonctionner.
- 17 Voir VIA Technologies (2018).
- 18 Voir Randall (2019).
- 19 Voir Hawkins (2019).
- 20 Voir Chesbrough (2003).
- 21 Voir Arora et Gambardella (1990).
- 22 Voir Teece (1986).
- 23 Voir Gans et Stern (2003) et Cozzolino et Rothaermel (2018).
- 24 Voir Perkins et Murmann (2018).
- 25 Voir MacDuffie (2018), Jiang et Lu (2018), Teece (2018).
- 26 Voir Capron et Mitchell (2012).
- 27 La majorité des données ont été recueillies à partir des dernières annonces dans les médias et dans les entreprises. Cependant, ces informations peuvent parfois être trompeuses, car d’autres éléments comme l’envoi de signaux sur le marché et le fait d’appeler l’attention des investisseurs en capital-risque peuvent être à l’origine de ces annonces.
- 28 Voir Bresnahan et Tratjenberg (1995).
- 29 Les données sur les brevets et les publications scientifiques utilisées dans cette section sont un sous-échantillon de celles au sujet desquelles des explications ont été données au chapitre 2. Pour plus d’informations sur les stratégies de recherche détaillée et la collecte de données, veuillez consulter les documents de travail respectifs.
- 30 Voir Lee et Lim (2001).
- 31 Voir Toyota Research Institute - CSAIL (n.d.).
- 32 Voir Stone (2018).
- 33 Voir Abuelsamid (2017).
- 34 Voir nuTonomy (2017).
- 35 Voir Singapore Economic Development Board (2016).
- 36 Voir Engel (2017).
- 37 Voir Bigelow (2019a).
- 38 Voir Bigelow (2019b).
- 39 Voir Nicas (2017).
- 40 Voir Snavelly (2017).
- 41 Voir University of Waterloo (n.d.) et McKenzie et McPhee (2017).
- 42 Voir University of Toronto (2019).
- 43 Voir Carnegie Mellon (1986).
- 44 Voir U.S. Defense Advanced Research Projects Agency (n.d.).
- 45 Voir Lowensohn (2015).
- 46 Voir Vasilash (2018).
- 47 Voir Carnegie Mellon University (n.d.).
- 48 Wiggers (2019).
- 49 Voir California Department of Motor Vehicles (n.d.).
- 50 Voir Teece (2019).
- 51 Voir la traduction complète : China’s ‘New Generation Artificial Intelligence Development Plan’ (2017).
- 52 Economist (2019).
- 53 Voir Feifei (2019).
- 54 Voir Silver (2018).
- 55 Voir Teece (2019) et Jing (2018).
- 56 Voir [apollo.auto](#).
- 57 Voir Xinhua (2019).
- 58 Voir Liao (2019).
- 59 Voir [research.baidu.com](#).
- 60 Voir Korosec (2018).
- 61 Voir [www.ukautodrive.com/the-uk-autodrive-project](#).
- 62 Voir Fleet News (2018).
- 63 Voir U.K. Department for Transport (2015).
- 64 Voir Dennis and Brugeman (2019).
- 65 Le Personal Rapid Transit (PRT), également appelé podcar en anglais, est un moyen de transport collectif permettant de se déplacer dans de petits véhicules automatisés se déplaçant sur un réseau de voies spécialement dévolues à ce moyen de transport.
- 66 Voir Dennis et Brugeman (2019).

- 67 Voir Taylor (n.d.).
- 68 Voir ARM (n.d.).
- 69 Voir Poulanges (2017).
- 70 Voir PSA Groupe (n.d.).
- 71 Voir PSA Groupe (n.d.).
- 72 Voir Valeo (2015).
- 73 Voir Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (2019).
- 74 Voir Dennis et Brugeman (2019).
- 75 Voir www.keolis.com/en.
- 76 Voir Dennis et Brugeman (2019).
- 77 Voir www.transdev.com/en.
- 78 Voir McQuilkin (2019).
- 79 Voir UBI Mobility-Connected Cars France (2018).
- 80 Voir Dickmanns (2002).
- 81 Voir Gregor *et al.* (2002), Daimler (2016), Oagana (2016).
- 82 Voir Taylor et Wissenbach (2019).
- 83 Voir Audi (2017).
- 84 Voir Ulrich (2019).
- 85 Voir Hetzner (2018).
- 86 Voir DeMattia (2018).
- 87 Voir Continental AG (n.d.).
- 88 Voir Continental AG (2018).
- 89 Voir Behrmann et Rauwald (2018).
- 90 Voir Daimler (n.d.).
- 91 Voir Initiative for Applied Artificial Intelligence (n.d.).
- 92 Voir Singer (2018).
- 93 Voir South Africa Israel Chamber of Commerce (2016).
- 94 Voir Leichman (2017).
- 95 Voir Scheer (2018).
- 96 Voir Intel (2018).
- 97 Voir Reichert (2019).
- 98 Voir Saxenian (1996) et (2007).
- 99 Voir Zehtabchi (2019).
- 100 Voir Zehtabchi (2019).
- 101 Voir Ghemawat (1991).

Références

- Abernathy, W.J. et K.B. Clark (1985). Innovation: mapping the winds of creative destruction. *Research Policy*, 14(1), 3-22.
- Abernathy, W.J. et J.M. Utterback (1978). Patterns of industrial innovation. *Technology Review*, 80(7), 40-47.
- Abuelsamid, S. (2017). Delphi acquires nuTonomy for \$450M, advancing push for automated Driving. *Forbes*, 24 octobre. [samabuelsamid/2017/10/24/delphi-acquires-automated-driving-startup-nutonomy-for-450m](https://www.samabuelsamid.com/2017/10/24/delphi-acquires-automated-driving-startup-nutonomy-for-450m)
- ARM. (n.d.). Automotive Autonomous Drive. www.arm.com/solutions/automotive/autonomous-car
- Arora, A. et A. Gambardella (1990). Complementarity and external linkages: the strategies of the large firms in biotechnology. *The Journal of Industrial Economics*, 38(4), 361-379.
- Audi. (2017). *Audi Piloted Driving*. media.audiusa.com/models/piloteddriving
- Audretsch, D.B. et M.P. Feldman (1996). Innovative clusters and the industry life cycle. *Review of Industrial Organization*, 11(2), 253-273.
- Behrmann, E. et C. Rauwald (2018). ZF plans \$14 billion autonomous vehicle push, concept van. *Automotive News*, 19 septembre.
- Bigelow, P. (2019a). Waymo firms up plans for autonomous car assembly plant in Detroit. *Automotive News*, 23 avril.
- Bigelow, P. (2019b). Waymo to build self-driving cars in Detroit, invest \$13.6 million in factory. *Crain's Detroit Business*, 23 avril.
- Bresnahan, T.F. et M. Trajtenberg (1995). General purpose technologies 'Engines of growth'? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83-108.
- California Department of Motor Vehicles. (n.d.). Testing of autonomous vehicles with a driver. www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/testing
- Capron, L. et W. Mitchell (2012). *Build, Borrow, or Buy: Solving the Growth Dilemma*. Cambridge, MA: Harvard Business Press.
- Carnegie Mellon. (1986). NavLab 1. Robotics Institute History of Self-Driving Cars. Vidéo sur YouTube, www.youtube.com/watch?v=ntlczNQKfjQ
- Carnegie Mellon University. (n.d.). No Hands Across America. www.cs.cmu.edu/~tjochem/nhaa/nhaa_home_page.html
- Chesbrough, H.W. (2003). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Cambridge, MA: Harvard Business Press.
- Continental AG (2018). Continental expands automated driving tests on the autobahn. Communiqué de presse, 26 avril. www.continental.com/en/press/press-releases/cruisingchauffeur-128928.
- Continental AG. (n.d.). Driverless mobility. www.continental-automotive.com/en-gl/Landing-Pages/CAD/Automated-Driving/Hidden-Pages/Driverless-Mobility.
- Cozzolino, A. et F.T. Rothaermel (2018). Discontinuities, competition, and cooperation: Cooperative dynamics between incumbents and entrants. *Strategic Management Journal*, 39(12), 3053-3085.
- Daimler. 2016. The PROMETHEUS project launched in 1986: Pioneering autonomous driving. Communiqué de presse, 20 septembre.
- Daimler. (n.d.). Reinventing safety: a joint approach to automated driving systems. www.daimler.com/innovation/case/autonomous/reinventing-safety-2.html
- DeMattia, N. (2018). Klaus Fröhlich talks about BMW iNEXT. *BMW Blog*, 24 septembre. www.bmwblog.com/2018/09/24/klaus-frohlich-to-talks-about-bmw-inext
- Dennis, E.P. et V.S. Brugeman (2019). *Automated and Connected Vehicle Deployment Efforts: A Primer for Transportation Planners*. Ann Arbor, MI: Center for Automotive Research; Lansing, MI: Michigan Department of Transportation.
- Dickmanns, E. (2002). The development of machine vision for road vehicles in the last decade. In *Proceedings Intelligent Vehicle Symposium 2002*, Versailles, 17-21 juin. Piscataway, NJ: IEEE, 268-281.
- Dziczek, K., E.P. Dennis, Q. Hong, Y. Chen, V. Sathe-Brugeman et E. Marples (2019). Automated Driving Technology Report. Rapport de synthèse non publié pour l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle.

- Economist (2019). Chinese firms are taking a different route to driverless cars. *The Economist*, 12 octobre. www.economist.com/business/2019/10/12/chinese-firms-are-taking-a-different-route-to-driverless-cars
- Engel, J. (2017). Optimus Ride drives off with \$18M for autonomous vehicle tech. *xconomy*, 2 novembre. xconomy.com/boston/2017/11/02/optimus-ride-drives-off-with-18m-for-autonomous-vehicle-tech
- Feifei, F. (2019). Autonomous vehicles gaining more ground. *China Daily*, 15 janvier. www.chinadaily.com.cn/a/201901/15/WS5c3d2bb0a3106c65c34e46e2.html
- Fleet News (2018). UK CITE enters second phase of Coventry autonomy testing with Jaguar Land Rover. *Fleet News*, 2 juillet. www.fleetnews.co.uk/news/environment/2018/07/02/uk-cite-enters-second-phase-of-coventry-autonomy-testing-with-jaguar-land-rover
- Foundation for Law and International Affairs (FLIA) (2017). China's New Generation of Artificial Intelligence Development Plan. flia.org/noticestatecouncilissuingnew-generationartificialintelligence-developmentplan.
- Gans, J. S. et S. Stern (2003). The product market and the market for "ideas": commercialization strategies for technology entrepreneurs. *Research Policy*, 32(2), 333-350.
- Ghemawat, P. (1991). Market incumbency and technological inertia. *Marketing Science*, 10(2), 161-171.
- Gregor, R., M. Lutzeler, M. Pellkofer, K-H. Siedersberger et E. Dickmanns (2002). MS-Vision: a perceptual system for autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 3(1), 48-59.
- Hawkins, A.J. (2019). Waymo is making some of its self-driving car data available for free to researchers. *The Verge*, 21 août. www.theverge.com/2019/8/21/20822755/waymo-self-driving-car-data-set-free-research
- Hetzner, C. (2018). Mercedes plans advanced self-driving tech for next S class. *Automotive News*, 11 octobre.
- Higgins, M.J. et D. Rodriguez (2006). The outsourcing of R&D through acquisitions in the pharmaceutical industry. *Journal of Financial Economics*, 80(2), 351-383.
- Hummel, T. (2019). BMW, Daimler seal self-driving tech partnership. *Automotive News Europe*, 4 juillet. europe.autonews.com/automakers/bmw-daimler-seal-self-driving-tech-partnership
- Initiative for Applied Artificial Intelligence. (n.d.). German Startup Landscape of Autonomous Driving. appliedai.de/insights/autonomous-driving
- Intel. (n.d.). 5G Is key to fully realizing connected and autonomous vehicles. www.intel.com/content/www/us/en/communications/5g-connected-vehicle.html
- Intel. (2018). Volkswagen, Mobileye and Champion Motors to invest in Israel and deploy first autonomous EV ride-hailing service. *Intel Newsroom*, 29 octobre. newsroom.intel.com/news-releases/volkswagen-mobileye-champion-motors-invest-israel-deploy-first-autonomous-ev-ride-hailing-service/#gs.bt6x8i
- International Energy Agency (IEA). (2019). *Global EV Outlook 2019*. Paris: IEA. www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019
- Jiang, H. et F. Lu (2018). To be friends, not competitors: a story different from Tesla driving the Chinese automobile industry. *Management and Organization Review*, 14(3), 491-499.
- Jing, M. (2018). Baidu's self-driving cars require more human intervention than Alphabet's Waymo. *South China Morning Post*, 7 mai. www.scmp.com/tech/enterprises/article/2144863/baidus-self-driving-carsrequire-more-human-intervention-alphabets
- Jovanovic, B. et G.M. MacDonald (1994). The life cycle of a competitive industry. *Journal of Political Economy*, 102(2), 322-347.
- Klepper, S. (1997). Industry life cycles. *Industrial and corporate change*, 6(1), 145-182.
- Korosec, K. (2018). Waymo opens subsidiary in China. *TechCrunch*, 24 août. techcrunch.com/2018/08/24/waymo-opens-subsidiary-in-china
- Lee, K. et C. Lim (2001). Technological regimes, catching-up and leapfrogging: findings from the Korean industries. *Research Policy*, 30(3), 459-483.

- Leichman, A.K. (2017). Porsche invests 8-figure sum in Israeli auto innovation. *Israel21c*, 4 juin. israel21c.org/porsche-invests-8-figure-sum-in-israeli-auto-innovation
- Liao, R. (2019). Search giant Baidu has driven the most autonomous miles in Beijing. *TechCrunch*, 2 avril. techcrunch.com/2019/04/02/baidu-self-driving-2018
- Lowensohn, J. (2015). Uber just announced its own self-driving car project. *The Verge*, 2 février. www.theverge.com/2015/2/2/7966527/uber-just-announced-its-own-self-driving-car-project
- MacDuffie, J.P. (2018). Response to Perkins and Murmann: Pay attention to what is and isn't unique about Tesla. *Management and Organization Review*, 14(3), 481-489.
- McKenzie, R. et J. McPhee (2017). Research and educational programs for connected and autonomous vehicles at the University of Waterloo. *Mechanical Engineering*, 139(12), S21-S23. doi.org/10.1115/1.2017-Dec-11.
- McQuilkin, K. (2019). Blacksburg's Torc Robotics is launching autonomous shuttle buses in France. *RichmondInno*, 8 janvier. americaninno.com/richmond/tech-news-richmond/blacksburgs-torc-robotics-is-launching-autonomous-shuttle-buses-in-france
- Ministère de l'enseignement supérieur de la recherche et de l'innovation (2019). Lancement de quatre instituts interdisciplinaires d'intelligence artificielle (3IA) et ouverture de deux appels à projets complémentaires. Communiqué de presse. 24 avril. enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid141320/lancement-de-4-instituts-interdisciplinaires-d-ia-3ia-et-ouverture-de-deux-appels-a-projets-complementaires.html
- Nicas, J. (2017). Google parent retires 'Firefly' self-driving prototype. *Wall Street Journal*, 13 juin.
- nuTonomy. (2017). Aptiv opens Boston Technology Center. Communiqué de presse, 12 décembre. article/2017/12/12/aptiv-opens-boston-technology-center
- Oagana, A. (25 janvier 2016). A short history of Mercedes-Benz autonomous driving technology AutoEvolution. Tiré de autoevolution.com/news/a-short-history-of-mercedes-benz-autonomous-driving-technology-68148.html.
- Perkins, G. et J.P. Murmann (2018). What does the success of Tesla mean for the future dynamics in the global automobile sector? *Management and Organization Review*, 14(3), 471-480.
- Poulanges, M. (2017). Renault presents eyes-off/hands-off technology for the autonomous vehicle of the future. Groupe Renault, 28 juin. group.renault.com/en/news/blog-renault/renault-presents-eyes-offhands-off-technology-for-the-autonomous-vehicle-of-the-future
- Prahalad, C.K. et G. Hamel (1997). The core competence of the corporation. In *Strategische Unternehmensplanung/Strategische Unternehmensführung*. Heidelberg: Physica, 969-987.
- PSA Groupe. (n.d.). On the road to the autonomous car! www.groupe-psa.com/en/story/en-route-vers-la-voiture-autonome
- Randall, T. (2019). Waymo starts selling sensors to lower cost of self-driving cars. *Bloomberg Hyperdrive*, 6 mars. www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-06/waymo-starts-selling-sensors-to-lower-cost-of-self-driving-cars
- Reichert, C. (2019). CES 2019: Mobileye inks autonomous vehicle deals across China. *ZD Net*, 8 janvier. mobileeye-inks-autonomous-vehicle-deals-across-china
- Reuters (2019). Audi to join Mercedes, BMW development alliance: paper. www.reuters.com/article/us-volkswagen-audi-bmw-daimler/audi-to-join-mercedes-bmw-development-alliance-paper-idUSKCN1VC0YT
- Rothaermel, F. T. (2001). Incumbent's advantage through exploiting complementary assets via interfirm cooperation. *Strategic management journal*, 22(6-7), 687-699.
- Rothaermel, F.T. et A.M. Hess (2007). Building dynamic capabilities: innovation driven by individual-, firm-, and network-level effects. *Organization Science*, 18(6), 898-921.
- Saxenian, A. (1996). *Regional Advantage*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Saxenian, A. (2007). *The New Argonauts: Regional Advantage in a Global Economy*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Scheer, S. (2018). Mobileye gets self-driving tech deal for 8 million cars. *Automotive News Europe*, 17 mai. europe.autonews.com/article/20180517/ANE/180519817/mobileye-gets-self-driving-tech-deal-for-8-million-cars

Silver, D. (2018). Baidu brings the Waymo model to China. *Forbes*, 1^{er} novembre. [sites/davidsilver/2018/11/01/baidu-brings-the-waymo-model-to-china/#d0b52193d961](https://www.forbes.com/sites/davidsilver/2018/11/01/baidu-brings-the-waymo-model-to-china/#d0b52193d961)

Singapore Economic Development Board. (2016). World's first driverless taxi system comes to Singapore. www.edb.gov.sg/en/news-and-events/insights/innovation/world-s-first-driverless-taxi-system-comes-to-singapore.html

Singer, D. (2018). Israel's artificial intelligence start-ups. *StartupHub.ai*. www.startuphub.ai/israels-artificial-intelligence-startups-2018

Snavely, B. (2017). Roush expands in Troy, will hire 150 engineers of self-driving tech. *Detroit Free Press*. 9 mai.

South Africa Israel Chamber of Commerce. (2016). Autonomous cars herald new era for Israeli high-tech. saicc.co.za/general-motors-to-triple-size-of-rd-israelicentre

Stone, A. (2018). What the three tiers of automotive marketing mean today. *Forbes*, 28 juin. www.forbes.com/sites/forbesagencycouncil/2018/06/28/what-the-three-tiers-of-automotive-marketing-mean-today/#c449dec26510

Taylor, M. (n.d.). AI in Cambridge: the machine learning capital of the U.K.? *Luminous PR*. luminouspr.com/Cambridge-the-ai-capital-of-the-uk

Taylor, E. et I. Wissenbach (2019). As Google races ahead, German carmakers look to go faster on autonomous driving. Reuters, 23 janvier. [us-germany-autos/as-google-races-ahead-german-carmakers-look-to-go-faster-on-autonomous-driving-idUSKCN1PH18C](https://www.reuters.com/article/us-germany-autos/as-google-races-ahead-german-carmakers-look-to-go-faster-on-autonomous-driving-idUSKCN1PH18C)

Teece, D.J. (1986). Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research Policy*, 15(6), 285-305.

Teece, D.J. (2018). Tesla and the reshaping of the auto industry. *Management and Organization Review*, 14(3), 501-512.

Teece, D.J. (2019). China and the reshaping of the auto industry: a dynamic capabilities perspective. *Management and Organization Review*, 15(1), 177-199.

Toyota Research Institute-CSAIL. (n.d.). *Joint Research Center*. toyota.csail.mit.edu/

Tripsas, M. (1997). Unraveling the process of creative destruction: complementary assets and incumbent survival in the typesetter industry. *Strategic Management Journal*, 18(S1), 119-142.

UBI Mobility-Connected Cars France (2018). French delegation: Connected autonomous vehicles. 1419891vq14j2fapah1bpghjzyq.wpengine.netdna-cdn.com/wpcontent/uploads/2018/05/French-delegation_Ubimobility-2018-Detroit-Final.pdf

U.K. Department for Transport. (2015). *The Pathway to Driverless Cars: Code of Practice for Testing*. assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/446316/pathway-driverless-cars.pdf

Ulrich, L. (2019). 2019 Audi A8 review: Tech-packed flagship delivers almost everything, except level 3 autonomy. *The Drive*, 31 janvier. www.thedrive.com/new-cars/26252/2019-audi-a8-review-tech-packed-flagship-sedan-delivers-almost-everything-except-level-3-autonomy

University of Toronto. (2019). News: Self-driving cars. www.utoronto.ca/news/tags/self-driving-cars

University of Waterloo. (n.d.). *Centre for Automotive Research*. uwaterloo.ca/centre-automotive-research/research-expertise/connected-andautonomous

U.S. Defense Advanced Research Projects Agency. (n.d.). The grand challenge. www.darpa.mil/about-us/timeline/-grand-challenge-for-autonomous-vehicles.

Valeo (28 juillet 2015). *The Autonomous Car Takes to the Road*. www.valeo.com/en/the-autonomous-takes-to-the-road/

Vasilash, G. (2018). Argo AI and getting Ford to Level 4 autonomy. *Autoblog*, 8 septembre. autoblog.com/2018/09/08/argo-ai-ford-level-4-autonomy-self-driving-car

VIA Technologies (2018). VIA partners with Lucid to develop industry-leading VIA Edge AI 3D developer kit powered by Qualcomm APQ8096SG embedded processor. www.viatech.com/en/2018/11/via-partners-with-lucid-to-develop-industry-leading-via-edge-ai-3d-developer-kit

OMPI (2019). Rapport 2019 de l'OMPI sur les tendances technologiques – Intelligence artificielle. Genève: OMPI.

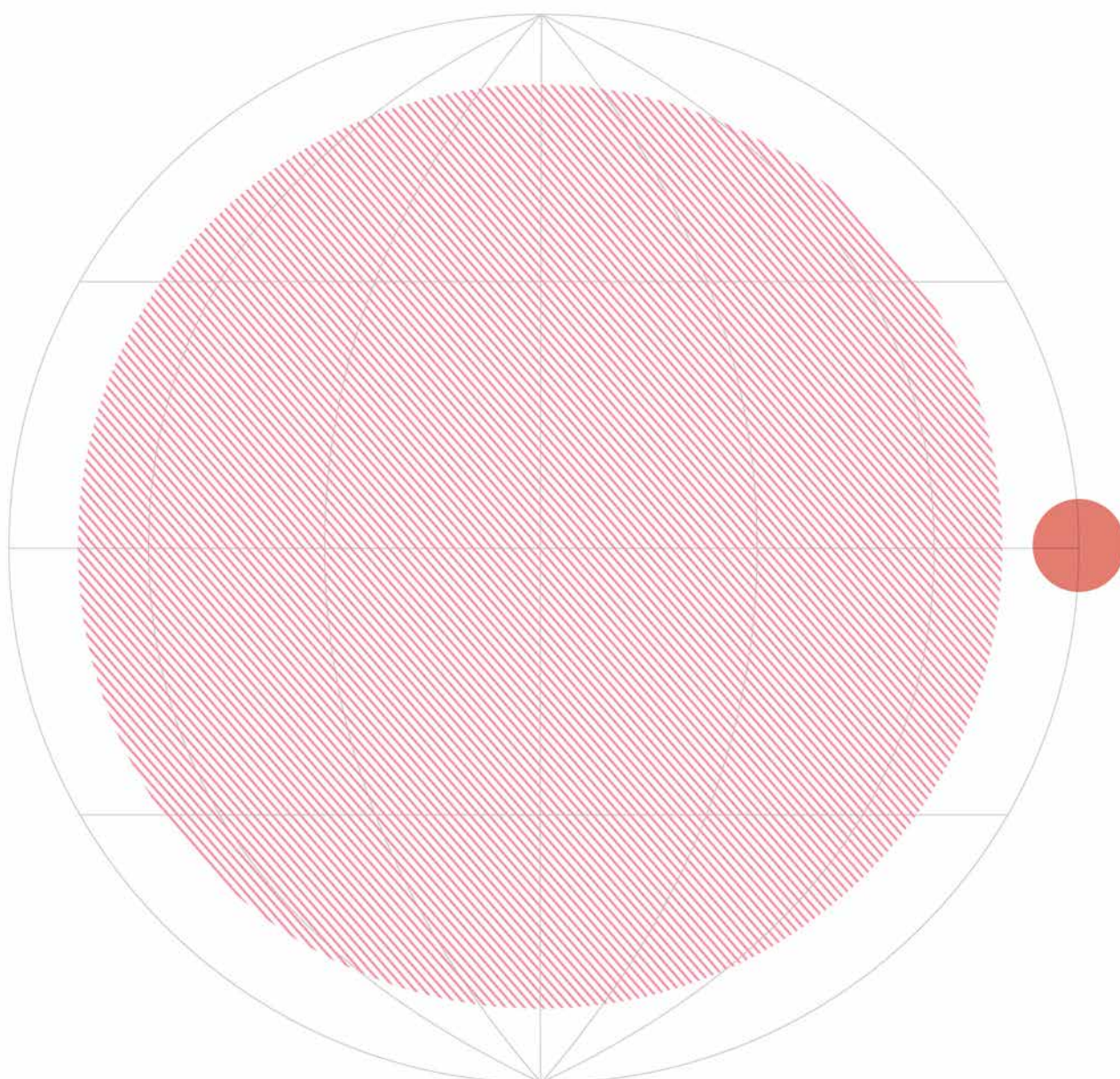
Wiggers, K. (2019) 5 companies are testing 55 self-driving cars in Pittsburgh. *Venture Beat*, 26 avril. venturebeat.com/2019/04/26/5-companies-are-testing-55-self-drivingcars-in-pittsburgh

Xinhua (2019) Baidu's self-driving taxis to run in Changsha in late 2019. Xinhuanet.com, 5 avril. xinhuanet.com/english/2019-04/05/c_137952253.htm

Zehtabchi, M. (2019). Measuring Innovation in the Autonomous Vehicle Technology. *Document de recherche économique de l'OMPI n° 60*. Genève: Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle.

Zucker, L.G. et M.R. Darby (1997). Present at the biotechnological revolution: transformation of technological identity for a large incumbent pharmaceutical firm. *Research Policy*, 26(4-5), 429-446.

Les retombées de l'innovation en matière de biotechnologie végétale vont bien au-delà des laboratoires. Une innovation créée dans un centre métropolitain peut produire des effets positifs dans une zone 75 fois plus étendue.



■ 200 000 km²

● CENTRE MÉTROPOLITAIN

▨ TERRE AGRICOLE

La biotechnologie végétale, un point de jonction entre innovation urbaine et application rurale

Les humains ont commencé à apporter des améliorations génétiques aux plantes plusieurs milliers d'années avant même que quiconque n'ait su ce qu'était un gène. Aux environs de 10 000 ans avant notre ère, ils ont initialement entrepris de sélectionner et domestiquer des plantes à partir de leur diversité biologique naturelle. Ces plantes se distinguaient de leurs ancêtres sauvages en ce qu'elles résultaient de la reproduction ou de la multiplication d'un matériel végétal particulier rigoureusement sélectionné, qui était cultivé à des fins de consommation et d'utilisation humaines¹.

Les techniques employées pour sélectionner et reproduire ou multiplier des variétés de culture présentant des caractères souhaitables (appelées "cultivars") peuvent généralement se répartir en trois catégories: les techniques traditionnelles, qui sont apparues en même temps que la domestication, les techniques classiques et les techniques modernes. Ces trois méthodes sont aujourd'hui utilisées dans des proportions variables.

La méthode classique permettant de mettre au point de nouvelles variétés de culture et de nouveaux caractères consiste à reproduire, par voie sexuée, deux variétés de culture compatibles afin de produire une descendance mutée présentant les caractères biologiques souhaités². Cette méthode nécessite souvent d'effectuer de nombreux croisements pour parvenir à la bonne combinaison de gènes et obtenir la plante souhaitée. Il faut aussi que les plantes soient sexuellement compatibles.

Aujourd'hui, de nouvelles variétés de culture peuvent être obtenues grâce à la biotechnologie. Cette technique moderne repose sur la compréhension de la constitution génétique d'une plante, et consiste à employer différentes méthodes de génie génétique pour modifier son acide désoxyribonucléique (ADN), des molécules de nucléotides qui contiennent les instructions génétiques relatives au développement, au fonctionnement, à la croissance et à la reproduction de tous les organismes connus.

La biotechnologie désigne "toute application technologique qui utilise des systèmes biologiques, des organismes vivants, ou des dérivés de ceux-ci, pour réaliser ou modifier des produits ou des procédés à usage spécifique"³. Elle peut aussi mettre en jeu le recours à des technologies et techniques de pointe sur les plans moléculaire et cellulaire. Que son application s'entende au sens large ou au sens strict, la biotechnologie agricole est fondée sur les découvertes et les outils de recherche d'une discipline scientifique relativement nouvelle.

Elle est en train de faire évoluer le secteur agricole⁴. Les progrès réalisés ont permis de mettre au point des plantes qui sont résistantes à certaines maladies, qui donnent de meilleurs rendements qu'auparavant, qui peuvent pousser dans des conditions de sols extrêmes, comme des milieux arides et salins, et qui sont même enrichies en nutriments⁵.

L'innovation biotechnologique est susceptible d'accroître la productivité et la qualité agricoles et, à terme, les revenus des agriculteurs du monde entier. Elle peut aussi permettre de répondre aux préoccupations

15 000 000 km²

environnementales relatives à l'utilisation de pesticides chimiques. Klümper et Qaim (2014) montrent que, grâce à la modification génétique, les bénéfices des agriculteurs ont augmenté de 68% au niveau mondial, les rendements des cultures ont progressé de 22%, et l'utilisation de pesticides chimiques a été réduite de 37%. Brookes (2018) estime que chaque dollar É.-U. supplémentaire investi dans des semences de soja transgénique (des semences contenant des gènes d'un autre organisme) plutôt que dans des semences classiques fait augmenter de 3,88 dollars É.-U. les revenus des agriculteurs. Cet accroissement s'explique par une hausse des rendements et une diminution des coûts liées à un moindre recours aux produits de lutte contre les ravageurs et les mauvaises herbes. En outre, la modification génétique est considérée comme étant une solution possible aux problèmes mondiaux que sont la faim et la pauvreté.

Dans le présent chapitre, il est fait appel au cas de la biotechnologie agricole, et en particulier de la biotechnologie végétale, pour illustrer le fonctionnement d'un réseau mondial d'innovation⁶. Il est procédé au recensement des acteurs et des lieux de l'innovation à partir d'informations figurant dans des documents de brevet et des publications scientifiques. Ces deux indicateurs complémentaires des activités d'innovation sont ensuite exploités pour mettre en évidence les liens existant entre les différents pôles d'innovation.

On trouvera dans la première section du présent chapitre une description de l'évolution du secteur de la biotechnologie végétale, et un recensement des facteurs qui stimulent l'innovation. La deuxième section traite de la façon dont le paysage de l'innovation a évolué dans ce secteur, et du fait que les pays participant à l'innovation n'ont jamais été aussi nombreux. L'avant-dernière section porte sur les liens existant entre les centres d'innovation des différentes régions du monde. Le chapitre s'achève sur la manière dont des faits nouveaux intervenus dans le secteur pourraient faire évoluer le paysage mondial et le réseau mondial de l'innovation en matière de biotechnologie végétale.

4.1 L'importance croissante de la biotechnologie végétale

La biotechnologie végétale couvre généralement trois branches du secteur agricole: i) l'amélioration végétale et les semences, ii) la santé et la fertilité des sols, et iii) les pesticides et la lutte contre les ravageurs.

L'application de la biotechnologie dans le domaine de l'amélioration végétale et des semences vise la mise au point de nouvelles variétés et de nouveaux caractères par hybridation, fécondation croisée (croisement), mutation, culture tissulaire, greffage et clonage de plantes, génie génétique et modification du génome (l'ensemble des informations héréditaires encodées dans l'ADN d'une plante), pour ne citer que quelques exemples. La majeure partie de l'innovation est faite dans ce domaine.

La biotechnologie liée à la santé et à la fertilité des sols a pour objet l'emploi de bioengrais (des microbes cultivés et utilisés aux fins de l'amendement des sols et de la croissance des plantes). Enfin, la biotechnologie liée aux pesticides et à la lutte contre les ravageurs porte sur les stratégies de lutte biologique, les biopesticides, l'obtention par amélioration et par génie génétique de plantes présentant des caractères de résistance aux ravageurs, ainsi que la mutation et le génie génétique à des fins de tolérance aux herbicides.

L'introduction de la biotechnologie dans l'agriculture

Les origines de la biotechnologie agricole remontent à 1866, année où le moine Augustin Gregor Mendel posa les lois fondamentales de l'hérédité en se fondant sur ses travaux consacrés aux pois. Il jeta les bases de l'amélioration scientifique et du génie génétique.

Plus tard, des progrès décisifs et des découvertes concernant des méthodes de mutation chromosomique et génique, réalisés dans les années 1920 et 1930, suivis de la découverte de la structure en double hélice de l'ADN, faite en 1953 à Cambridge et à Londres (Royaume-Uni, R.-U.), ont entraîné une explosion de la recherche en génétique (l'étude des gènes, des variations génétiques et de l'hérédité dans les organismes).

C'est toutefois l'avènement, en 1974, des technologies d'ADN recombinant (ADNr, la combinaison de brins d'ADN d'un organisme avec celui d'un autre organisme), mises au point sur des bactéries par des chercheurs de l'Université Stanford et de l'Université de Californie, à San Francisco (États-Unis d'Amérique), qui a ouvert la voie à l'application du génie génétique aux plantes et à d'autres organismes.

Le tableau 4.1 présente quelques-unes des découvertes et innovations majeures sur lesquelles reposent

Un bref historique des principaux progrès scientifiques en matière de biotechnologie

Tableau 4.1 Exemples de découvertes ou de percées scientifiques dans le domaine de la biotechnologie agricole

Année	Découverte/percée scientifique	Affiliation
1974	Stanley Cohen et Herbert Boyer mettent au point une technique (l'ADNr) qui permettrait de combiner des brins d'ADN de plusieurs organismes, posant les jalons du génie génétique	Université Stanford et Université de Californie, San Francisco, Californie (États-Unis d'Amérique)
1977	Les méthodes de séquençage de l'ADN sont inventées séparément par Walter Gilbert, accompagné d'un étudiant diplômé nommé Allan Maxam, et Frederick Sanger	Université Harvard, Cambridge, Massachusetts (États-Unis d'Amérique) et Université de Cambridge (Royaume-Uni)
1981	George Willems et Robert Schilperoort obtiennent la première plante (tabac) issue du génie génétique à l'aide de la bactérie <i>Agrobacterium</i> (voir l'encadré 4.1)	Université de Leiden, Leiden (Pays-Bas)
2000	La séquence complète du génome d' <i>Arabidopsis thaliana</i> (une petite plante) est établie, et publiée en 2000 dans le cadre de l' <i>Arabidopsis Genome Initiative</i> (Initiative relative au génome d' <i>Arabidopsis</i>)	Groupement d'universités et d'établissements publics de recherche situés aux États-Unis d'Amérique, au Japon et en Europe
2012	Une nouvelle technique de modification du génome, CRISPR-Cas9, est mise au point	Université de Californie, Berkeley, Californie (États-Unis d'Amérique); Université de Vienne (Autriche); Institut de technologie du Massachusetts et Harvard, Cambridge, Massachusetts (États-Unis d'Amérique); Université de Vilnius (Lituanie)

Source: Graff et Hamdan-Livramento (2019).

les méthodes de biotechnologie et leur application actuelle dans le domaine de la biotechnologie végétale.

Les outils et techniques biotechnologiques ont d'abord été utilisés à des fins commerciales dans le champ de la médecine, au milieu des années 1970; leur utilisation à des fins agricoles a commencé quelques années plus tard⁷. Cela s'explique surtout par le fait que la biologie moléculaire a principalement été mise au point dans des écoles et des universités de médecine, qui ne se préoccupaient guère d'agriculture⁸.

Toutefois, à mesure que l'utilisation de la biotechnologie dans les domaines de la médecine et de la santé humaine a gagné en importance, des scientifiques ont entrepris d'appliquer la biotechnologie aux sciences vétérinaires, à des fins de santé animale, puis à l'amélioration végétale. Ils l'ont d'abord appliquée aux animaux en raison de leur relative proximité génétique avec les humains⁹.

Au milieu des années 1980, le secteur de la biotechnologie agricole avait commencé son expansion. L'adoption, aux États-Unis d'Amérique, de plusieurs décisions judiciaires historiques concernant la brevetabilité des organismes vivants a entraîné la délivrance de brevets sur des plantes issues du génie génétique¹⁰. Vers la fin de la décennie, des essais en champ de plantes transgéniques étaient en cours en Australie, au

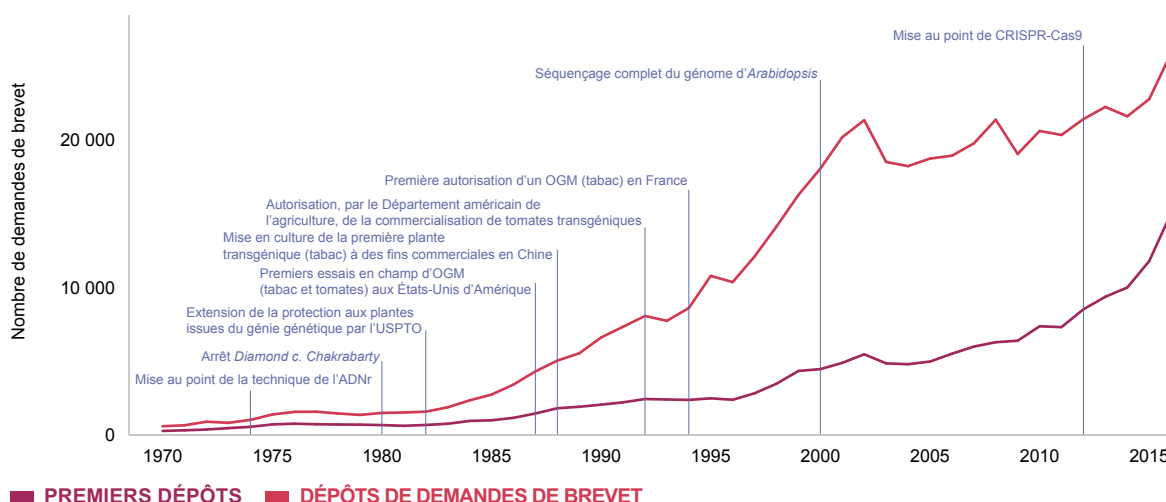
Canada, aux États-Unis d'Amérique et dans certains pays européens. Le Mexique, un pays en développement, a également commencé à réaliser des essais en champ de plantes transgéniques à peu près au même moment¹¹.

Parallèlement à cela, la Chine est devenue en 1988 le premier pays à cultiver, à des fins commerciales, une plante de tabac transgénique résistante aux ravageurs. Les agriculteurs chinois ont toutefois cessé de la cultiver au milieu des années 1990, car de nombreuses entreprises productrices de tabac exprimaient des préoccupations quant à l'utilisation de ces organismes génétiquement améliorés (OGA) dans leurs produits. Les consommateurs avaient notamment des inquiétudes au sujet de la consommation de cigarettes fabriquées à partir d'OGA. Ces faits marquants ont coïncidé avec un accroissement du nombre de nouvelles entreprises de haute technologie spécialisées en biotechnologie agricole, en particulier aux États-Unis d'Amérique, dans les années 1980 et 1990.

La figure 4.1 illustre la hausse de la demande mondiale de brevets concernant des inventions liées à la biotechnologie végétale entre 1970 et 2016. La ligne rouge représente le nombre total de demandes de brevet déposées dans ce domaine auprès des différents offices de propriété intellectuelle du monde entier¹². Par

L'essor du génie génétique a coïncidé avec une hausse du nombre de dépôts ultérieurs de demandes de brevet

Figure 4.1 Nombre total de dépôts de demandes de brevet liées à la biotechnologie végétale, 1970-2016



Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT et données concernant le PCT (voir les notes techniques).

ailleurs, la ligne rouge foncé représente le nombre de dépôts initiaux, également appelés premiers dépôts, de demandes de brevet liées à la biotechnologie végétale. La différence entre le nombre total de dépôts de demandes de brevet et le nombre de premiers dépôts correspond à ce que l'on appelle les "dépôts ultérieurs". Il s'agit des demandes déposées dans plusieurs pays ou territoires pour la même invention. L'écart grandissant séparant les deux lignes à partir des années 1980 fait apparaître que les inventeurs ont de plus en plus cherché, au moyen des brevets, à faire protéger leurs inventions contre la concurrence sur plusieurs marchés. Qui plus est, il reflète l'importance commerciale croissante que les inventions liées à la biotechnologie végétale ont acquise au niveau mondial.

Quels éléments influent sur l'innovation dans ce secteur?

Les politiques, les règles et la réglementation influent grandement sur l'innovation dans le secteur de la biotechnologie végétale. Elles prévoient notamment l'accessibilité des droits de propriété intellectuelle en tant que mécanisme permettant d'assurer le rendement des investissements dans l'innovation; elles comprennent, entre autres, des règlements relatifs à la santé et à la sécurité, et à la protection de l'environnement.

Un rendement des investissements satisfaisant

Dans la plupart des pays, les choses qui existent dans la nature, y compris les organismes biologiques, ne sont pas brevetables. Cependant, ces limites s'estompent sous l'effet des nouveaux progrès technologiques accomplis sur le plan de la biotechnologie¹³.

Les préoccupations concernant la brevetabilité des innovations liées à la biotechnologie agricole s'apparentent à celles exprimées au sujet de la protection par brevet dans le domaine de la biotechnologie en général¹⁴. L'octroi de droits exclusifs sur des outils de recherche est susceptible de freiner l'innovation ultérieure¹⁵. Dans le champ de la biotechnologie agricole, les brevets pourraient causer des difficultés aux pays les plus pauvres s'agissant de tirer parti des travaux de recherche qui pourraient permettre de réduire la pauvreté et de résoudre les problèmes relatifs à la faim dans le monde. En outre, des voix critiques affirment que la plupart des brevets délivrés ont une portée trop vaste et sont susceptibles d'empiéter sur d'autres technologies protégées, et que cela se traduit par le nombre de contentieux relativement élevé observé dans le secteur.

Aux États-Unis d'Amérique, deux évolutions liées à la politique en matière de propriété intellectuelle,

intervenues dans les années 1980, ont influé de façon déterminante sur le secteur américain de la biotechnologie agricole. Elles ont notamment eu pour effet un recours accru à la propriété intellectuelle comme moyen d'assurer un rendement satisfaisant des investissements dans l'innovation¹⁶.

La première est la promulgation de la loi Bayh-Dole en 1980. La loi Bayh-Dole permet de protéger par brevet le résultat des travaux de recherche des universités, même si ces travaux sont financés par les contribuables. La deuxième est l'extension de la protection par brevet aux organismes génétiquement modifiés (OGM), survenue à la suite d'un arrêt historique (affaire *Diamond c. Chakrabarty*) rendu par la Cour suprême de justice des États-Unis d'Amérique, également en 1980¹⁷. En 1985, l'Office des brevets et des marques des États-Unis d'Amérique (USPTO) avait étendu la protection par brevet aux plantes issues du génie génétique. L'Europe et le reste du monde ont rapidement fait de même.

Par ailleurs, la création de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), en 1995, s'est assortie de l'instauration de règles contraignantes au niveau international concernant la protection des droits de propriété intellectuelle dans les pays signataires. Cela a permis à de nombreuses entreprises multinationales (EMN) de demander la protection par brevet de leurs inventions liées à la biotechnologie végétale. Cependant, certains pays en développement, comme le Brésil, limitent la protection par brevet de certains produits liés à la biotechnologie végétale, notamment lorsqu'ils se rapportent à des semences ou à de nouvelles variétés végétales. Au lieu des brevets, le secteur privé du Brésil recourt à des droits *sui generis* pour protéger ses innovations¹⁸. Certains déposent des demandes de brevet pour le procédé de mise au point lui-même, plutôt que le résultat biotechnologique, ou pour des actifs complémentaires (infrastructures, dispositifs ou autres inventions) qui aboutissent au produit final de biotechnologie agricole¹⁹.

Protéger les consommateurs et préserver l'environnement

Face à l'importance croissante que la biotechnologie végétale était susceptible de revêtir sur le plan commercial, les autorités de réglementation et le public se sont posé la question de savoir à quel moment, et de quelle manière, il convenait de s'assurer que ces

plantes sciemment modifiées, ou transgéniques, ne nuiraient pas à la santé humaine ou à l'environnement.

L'utilisation de la biotechnologie végétale est réglementée à plusieurs niveaux, tant aux échelons national qu'international²⁰. Ces règlements permettent de veiller à la conformité des OGA avec des normes relatives à la sécurité biologique, à la sécurité sanitaire des aliments et à la protection des consommateurs. Par exemple, au niveau international, le Codex Alimentarius des Nations Unies fixe des orientations quant aux normes en matière de sécurité sanitaire des aliments; le Protocole de Cartagena sur la prévention des risques biotechnologiques, un accord international, énonce des orientations concernant la réglementation relative à la prévention des risques biotechnologiques; et un autre pacte international, la Convention d'Aarhus, confère au public un droit d'accès à l'information sur les décisions des pouvoirs publics qui ont des incidences sur l'environnement²¹.

Au niveau national, il existe généralement au moins trois procédures réglementaires à suivre pour qu'une nouvelle plante transgénique puisse être cultivée à des fins commerciales. Il s'agit : i) de l'autorisation de réalisation d'essais en champ, ii) de l'autorisation de cultivation à des fins commerciales, et iii) de l'autorisation de commercialisation auprès des consommateurs. Aux États-Unis d'Amérique, l'autorisation des essais en champ relève du Département de l'agriculture (USDA) et de l'Agence de protection de l'environnement (EPA), et l'autorisation de commercialisation, de l'Administration fédérale de contrôle des produits alimentaires et pharmaceutiques (FDA).

On doit à l'Europe des percées importantes dans le domaine de la biotechnologie végétale. Au début des années 1990, la Belgique, la France et le Royaume-Uni figuraient parmi les cinq premiers pays dans le secteur, l'ensemble desquels représentait près de 95% des plantes transgéniques mises en circulation – les deux autres étaient le Canada et les États-Unis d'Amérique. Cependant, au début du siècle, l'état d'esprit européen à l'égard des plantes transgéniques avait sensiblement changé²².

Entre 1998 et 2004, la Commission européenne (la Commission), qui est l'organe exécutif de l'Union européenne (UE), et cinq États membres de l'UE, ont imposé un moratoire *de facto* sur l'autorisation des OGM²³. La Commission a ensuite mis en place, à partir de 2003, plusieurs règlements et directives sur les OGM²⁴.

Encadré 4.1. Principales différences entre les techniques d'amélioration

L'introduction de caractères souhaités dans une plante peut se faire selon deux méthodes, en fonction du type de plante. La modification des dicotylédones, ou des plantes feuillues comme le coton, le soja et la tomate, est opérée au moyen d'une bactérie appelée *Agrobacterium tumefaciens*. Dans la nature, cette bactérie infecte les plantes, introduisant directement dans leur ADN une partie de son propre ADN. En modifiant la bactérie pour en éliminer les caractères non souhaités et y insérer le gène d'intérêt, il est possible de modifier une plante par la voie d'une infection bactérienne. Les cellules contenant le nouveau gène peuvent ensuite être sélectionnées et cultivées à l'aide d'une technologie de culture de cellules végétales pour générer une plante entière désormais porteuse du nouveau transgène, lequel aura été incorporé à son ADN.

La modification des monocotylédones, ou des espèces herbacées comme le maïs, le blé et le riz, consiste à projeter physiquement sur le génome de la plante de petites billes de tungstène enrobées d'ADN externe. Une partie de l'ADN se détache et s'incorpore dans l'ADN de la plante réceptrice. Ces cellules peuvent également être sélectionnées et cultivées pour générer une plante entière contenant l'ADN étranger.

Les différences entre les méthodes traditionnelles et classiques et les méthodes modernes d'amélioration ont principalement trait au contrôle du processus d'amélioration. Le recours aux méthodes traditionnelles et classiques d'amélioration végétale donne des résultats souvent imprévisibles. Les obtenteurs sélectionnent des parents présentant les caractères souhaités pour le croisement, mais ces caractères peuvent ne pas être contenus dans le génotype de la descendance, ou ne pas être visibles dans son phénotype.

Les techniques modernes d'amélioration, comme le génie génétique, rendent possibles le transfert ciblé de caractères végétaux souhaitables (le transgène) et la mise au point rapide et efficace de nouvelles plantes transgéniques. Ces plantes transgéniques sont aussi appelées OGM. Grâce aux techniques modernes, le processus d'amélioration est plus simple, du fait que la compatibilité sexuelle des plantes présentant les caractères souhaités n'est

plus nécessaire, et les caractères souhaitables peuvent être sélectionnés à partir de n'importe quel organisme vivant. Les caractères souhaités peuvent provenir de la même espèce ou d'espèces croisées; ils peuvent même résulter d'une modification de l'expression des gènes de la plante. Le fait de cibler le gène souhaité, de le pister et de l'insérer dans l'ADN d'une plante permet d'améliorer celle-ci "proprement" et d'éliminer la probabilité d'apparition de caractères auxiliaires non souhaités, qui sont une conséquence fréquente du recours aux méthodes traditionnelle et classique d'amélioration. En outre, la mise au point de nouvelles variétés de culture prend moins de temps avec les techniques modernes d'amélioration qu'avec les techniques antérieures.

Source: FAO (2004), et Persley et Siedow (1999).

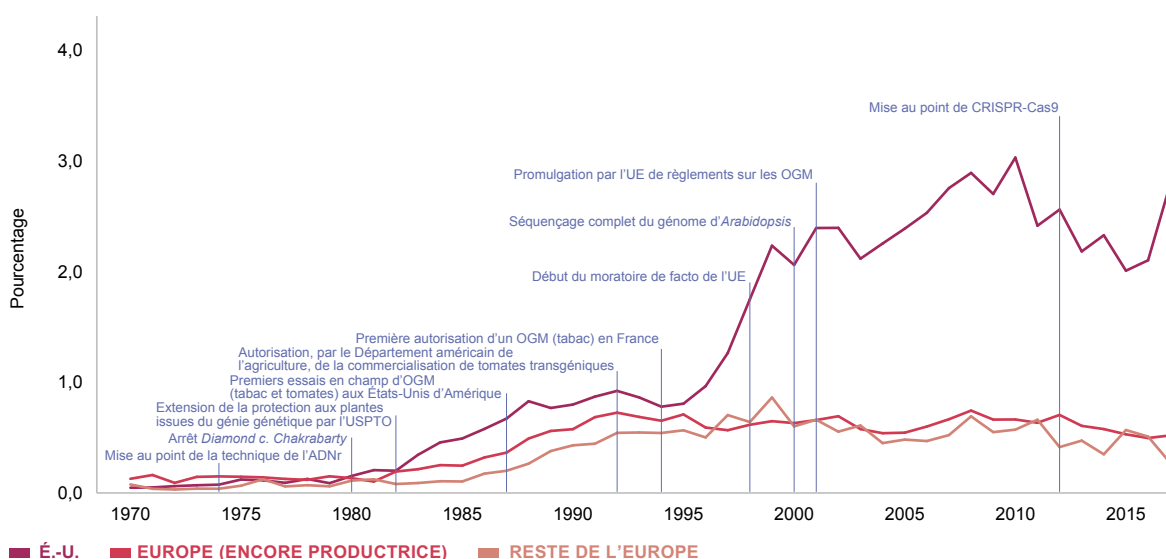
Pendant le moratoire, elle a établi une distinction entre les plantes dont les gènes avaient été modifiés à l'aide de méthodes classiques d'amélioration, et celles qui avaient été génétiquement modifiées au moyen d'outils biotechnologiques (voir l'encadré 4.1). Les mesures ont consisté à établir des prescriptions particulières concernant la réalisation d'essais en champ et la plantation de plantes transgéniques, leur importation et leur utilisation, et l'étiquetage des produits issus d'OGM.

Mises à part les vigoureuses campagnes politiques conduites contre les OGM par des groupes de défense des consommateurs et de l'environnement, plusieurs explications commerciales ont été avancées au sujet de ce changement d'état d'esprit européen à l'égard des plantes transgéniques. Graff et Zilberman (2007) affirment que les puissantes entreprises agrochimiques européennes jouissaient d'un avantage comparatif en matière de chimie et voulaient empêcher leurs concurrents d'accéder au marché. Sheldon (2004) a émis l'hypothèse que les agriculteurs de l'UE avaient vu, dans les mesures limitant l'autorisation des plantes issues du génie génétique, l'occasion d'empêcher que des produits agricoles provenant du reste du monde ne soient introduits sur le marché.

Quoi qu'il en soit, les règlements de l'UE ont sans doute eu un effet dissuasif sur la recherche-développement européenne dans le domaine de la biotechnologie agricole.

Dans le domaine de la biotechnologie agricole, le nombre de dépôts de demandes de brevet émanant des États-Unis d'Amérique a progressé plus rapidement que le nombre de dépôts émanant d'Europe

Figure 4.2 Part des dépôts liés à la biotechnologie végétale dans l'ensemble des dépôts de demandes de brevet, par origine (%), 1970-2016



Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT et données concernant le PCT (voir les notes techniques).

La figure 4.2 illustre la part des dépôts de demandes de brevet que les États-Unis d'Amérique (rouge foncé) et plusieurs pays européens (rouge et rouge clair) représentent dans l'ensemble des dépôts relatifs à la biotechnologie végétale effectués dans le monde²⁵. Jusqu'à la fin des années 1990, la part des demandes de brevet liées à la biotechnologie végétale déposées aux États-Unis d'Amérique et dans l'UE a augmenté de façon plus ou moins parallèle. Cependant, à partir de 1997, un écart se creuse entre les rythmes d'accroissement du nombre de demandes de brevet respectivement déposées aux États-Unis d'Amérique et dans l'UE. Il est difficile de savoir avec certitude si cela est dû au moratoire *de facto* de l'Europe. Néanmoins, depuis 1998, le nombre de demandes de brevet en matière de biotechnologie agricole déposées dans les pays de l'UE progresse pratiquement au même rythme, si ce n'est plus lentement, que le nombre total de dépôts de demandes de brevet.

Selon les acteurs du secteur, la position de l'UE vis-à-vis des plantes transgéniques a affecté les stratégies commerciales des entreprises. Une étude réalisée par le Service agricole pour l'étranger de l'USDA a

fait apparaître que de nombreuses entreprises européennes avaient réorienté leurs activités de recherche-développement à l'extérieur de l'Europe, les délocalisant notamment vers les États-Unis d'Amérique. Alors que les établissements publics et les universités d'Europe continuent de faire de la recherche fondamentale en phytogénétique, il est peu probable que les résultats de ces travaux soient mis sur le marché de l'UE. Il est également ressorti du rapport que de nombreuses entreprises européennes de biotechnologie avaient réorienté l'essentiel de leurs activités vers les applications industrielles des biocarburants et les applications thérapeutiques, au détriment des utilisations agricoles²⁶. L'une des principales EMN européennes du secteur, l'entreprise chimique allemande BASF, a cessé de mettre au point et de commercialiser ses plantes transgéniques dans l'UE en 2012²⁷.

Qui stimule l'innovation?

L'innovation dans le secteur de la biotechnologie végétale est stimulée par les investissements des secteurs public et privé.

Une forte impulsion du secteur public en faveur de la recherche agricole

Le secteur public joue un rôle crucial dans la recherche en matière de biotechnologie végétale en finançant et en mettant en place d'importantes infrastructures nécessaires à la recherche. En Europe, ainsi qu'aux États-Unis d'Amérique, l'importance qu'il y a à investir dans la recherche en génie génétique est mise en évidence dans des documents directifs et des rapports publiés de premier plan²⁸.

Des scientifiques et des chercheurs d'établissements publics de recherche ont fait des découvertes majeures qui ont ouvert la voie au génie génétique. La science fondamentale a conservé son importance au regard de l'innovation en matière de biotechnologie végétale. Par exemple, grâce aux progrès essentiels accomplis sur les plans de la biologie moléculaire et de la génétique, des méthodes permettant de sélectionner et cibler plus efficacement des génotypes particuliers dans des organismes ont été élaborées. De plus, la mise au point de CRISPR-Cas9, une technologie de modification des gènes, a entraîné une baisse notable des coûts dans le domaine du génie génétique²⁹.

Les centres de recherche agricole et les universités spécialisées en sciences agricoles jouent un rôle déterminant dans l'adaptation de la recherche et la diffusion des innovations liées à la biotechnologie agricole. Ces centres de recherche ont pour mission de réaliser et valoriser des travaux susceptibles de faire progresser l'agronomie, l'amélioration génétique des plantes cultivées, et l'innovation agricole en général. En outre, l'appui à leurs travaux de recherche comprend un financement apporté par les États, par des fondations et par diverses organisations et institutions intergouvernementales et à but non lucratif. Ce mandat bien défini et cet appui financier solide contribuent à assurer la continuité et l'intérêt des travaux réalisés par ces établissements.

Aux États-Unis d'Amérique, la loi Morrill de 1862 a donné naissance aux collèges Land-Grant en entraînant l'affectation de 30 000 acres (près de 121,5 km²) de terres fédérales, dans l'ensemble du pays, à la construction de collèges et d'universités destinés, entre autres, à enseigner l'agriculture et à promouvoir son développement. La deuxième loi Morrill, promulguée en 1890, a permis de faire en sorte que ces collèges bénéficient d'un financement fédéral régulier.

Les résultats concluants des collèges Land-Grant ont servi de base à la création de centres de recherche similaires dans des pays émergents³⁰. Les deux premiers ont été le Centre international d'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT), à Mexico (Mexique), et l'Institut international de recherche sur le riz (IRRI), à Los Baños (Philippines). Plus tard, ces deux systèmes nationaux de recherche agricole (SNRA) seraient intégrés dans le Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI), une organisation chapeautant 15 centres de recherche indépendants à but non lucratif essentiellement consacrés à l'innovation agricole. Le GCRAI a influé sur l'évolution historique de l'innovation en matière de biotechnologie agricole, en particulier dans le champ du développement phytogénétique.

L'agriculture nécessite que l'innovation soit adaptée aux différentes conditions agroécologiques régionales, y compris aux ensembles que forment le sol, la configuration du relief et les caractéristiques climatiques³¹. Les plantes transgéniques devraient donc être produites à partir de cultivars locaux et être testées dans des champs locaux. Dans de nombreux pays en développement, ces cultivars et les germoplasmes (des ressources génétiques vivantes conservées à des fins d'amélioration animale ou végétale ou de préservation) sont conservés par des établissements publics tels que les SNRA ou les centres internationaux de recherche agricole (CIRA)³².

La collaboration entre les établissements publics est importante, surtout lorsqu'il s'agit d'essayer de commercialiser des OGA dans les pays moins développés. La plupart des plantes transgéniques plantées dans ces pays vers la fin des années 1990 résultaient de l'adaptation de germoplasmes nord-américains aux conditions locales³³. Dans les pays plus pauvres, les CIRA peuvent jouer un rôle de liaison dans les réseaux mondiaux d'innovation en mettant en relation des scientifiques agricoles et des obtenteurs de nombreux SNRA du monde entier, y compris des instituts universitaires de recherche agricole.

L'innovation en matière de biotechnologie végétale pourrait permettre de résoudre les problèmes liés aux pénuries alimentaires et à la sécurité alimentaire³⁴. C'est pourquoi le secteur public, y compris des organisations intergouvernementales et des organismes et institutions à but non lucratif, apportent un appui solide aux progrès réalisés afin de promouvoir leur diffusion dans le reste du monde³⁵.

Dans bon nombre de pays émergents, les États financent la majeure partie de la recherche agricole. Dans quelques cas, comme ceux de la Chine, de l'Inde et du Brésil, les dépenses du secteur public consacrées à la recherche-développement en matière d'agriculture ont augmenté rapidement. Entre 1990 et 2013, les dépenses du secteur public chinois afférentes à la recherche-développement agricole ont presque décuplé, passant de 1 milliard à plus de 9 milliards de dollars É.-U.³⁶. Dans le même temps, les dépenses de l'Inde ont triplé, passant de moins de 1 milliard à près de 3 milliards de dollars É.-U., et celles du Brésil ont presque doublé, passant de moins de 2 milliards à près de 3 milliards de dollars É.-U. En revanche, les dépenses du secteur public américain afférentes à l'agriculture n'ont que modérément progressé, s'établissant à environ 4 milliards de dollars É.-U. en 1990 et ont diminué à partir de 2003.

Toutefois, de nombreux pays émergents, notamment ceux qui disposent de capacités limitées s'agissant d'innover dans la biotechnologie végétale, et/ou qui manquent de ressources financières pour faire de la recherche dans ce domaine, s'appuient plutôt sur les travaux des SNRA et/ou des CIRA³⁷.

Des mesures incitatives sur fond de concentration du marché

Au départ, durant les premières années, les petites entreprises universitaires de haute technologie occupaient une place prépondérante sur le marché de la biotechnologie végétale. Néanmoins, à partir des années 1990, bon nombre d'entre elles ont été rachetées par des EMN. Selon les estimations d'une étude, près de 90% de tous les contrats de recherche-développement en matière de biotechnologie agricole ont été conclus entre de nouvelles entreprises de haute technologie et de grandes EMN³⁸.

Parallèlement à cela, dans les pays riches comme dans les pays pauvres, les entreprises des secteurs semencier et chimique et du secteur des engrais ont dû faire face à une importante concentration du marché³⁹. Les raisons en sont nombreuses. Les coûts fixes élevés afférents à la commercialisation de plantes transgéniques nécessitent des ressources financières considérables dont ne disposent pas forcément beaucoup de nouvelles entreprises de haute technologie. Deuxièmement, ces coûts fixes élevés requièrent aussi

de recourir davantage aux droits de propriété intellectuelle pour assurer le rendement des investissements. L'accumulation de technologies protégées dans le domaine de la biotechnologie végétale peut constituer un obstacle à l'innovation, comme c'est le cas dans le secteur des semi-conducteurs. Les entreprises qui collaborent sont moins susceptibles de porter mutuellement atteinte à leurs droits de propriété intellectuelle. C'est ainsi que Monsanto, BASF, Dow, Bayer, DuPont et Syngenta se sont concédé des licences réciproques sur des droits de propriété intellectuelle attachés à des plantes transgéniques⁴⁰.

En 2001, 30 entreprises distinctes des secteurs semencier et agrochimique n'en formaient plus que six : Monsanto, DuPont, l'entreprise suisse Syngenta, Bayer, Dow et BASF. Les quatre plus grandes d'entre elles représentent presque 60% du marché de la biotechnologie agricole. Les principaux groupes agrochimiques et semenciers sont : Bayer CropScience et BASF en Allemagne, Corteva Agriscience aux États-Unis d'Amérique, et ChemChina, qui a acquis Syngenta en 2017, en Chine.

Cette concentration de l'innovation en matière de biotechnologie agricole entre les mains de quelques entreprises ne s'est pas pour autant traduite par une diminution des activités d'innovation dans ce domaine⁴¹.

Le tableau 4.2 présente des exemples d'alliances, y compris de fusions et acquisitions, conclues entre des EMN semencières et agrochimiques. Il fait apparaître la concentration qui s'est opérée dans le secteur à partir des années 1990.

Une collaboration public-privé nécessaire

Zilberman *et al.* (1997) ont mené une enquête auprès d'entreprises américaines de biotechnologie végétale, et ont constaté de nombreux cas de collaboration entre les secteurs public et privé. Ils ont notamment indiqué que, dans la plupart des schémas d'innovation en matière de biotechnologie végétale, la découverte importante avait été faite par les universités, puis l'innovation avait été mise au point et commercialisée par le secteur privé. Ce schéma de collaboration entre les secteurs privé et public reste d'actualité.

Pendant les premières années, toutes les principales plantes transgéniques issues de modifications

génétiques ont été commercialisées et cultivées par de grandes EMN chimiques et semencières⁴². La seule exception a été le coton *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), qui a été mis au point par un établissement public de recherche chinois, le Centre de recherche en biotechnologie de l'Académie chinoise des sciences agricoles (CAAS), situé à Shenzhen. La CAAS a cependant créé une coentreprise avec les entreprises américaines Monsanto et Delta and Pineland, et l'entreprise chinoise Heibei Provincial Seed, pour mettre le coton *Bt* sur le marché. La plante transgénique a été mise à la disposition des agriculteurs chinois en 1997⁴³.

La nécessité de disposer d'actifs complémentaires pour innover dans la biotechnologie agricole oblige les innovateurs à collaborer. Dans les pays développés comme dans les pays en développement, la commercialisation des résultats des travaux de recherche effectués par les universités ou les établissements publics de recherche peut exiger l'apport d'une aide supplémentaire par le secteur privé. Cela a été le cas du coton *Bt* chinois, et c'est toujours le cas de nombreux projets de recherche menés conjointement par des laboratoires universitaires de recherche et des entreprises privées.

Dans bon nombre de pays en développement, on trouve quelques exemples de collaborations nouées entre les SNRA et de grandes EMN aux fins de la mise au point de plantes transgéniques adaptées à la région⁴⁴. Ces établissements publics peuvent avoir besoin d'accéder à des outils de recherche biotechnologiques protégés pour réaliser leurs travaux de recherche, ce qui nécessiterait la collaboration des titulaires de droits de propriété intellectuelle. Une telle collaboration peut notamment passer par la concession de licences portant sur des technologies protégées détenues par des entreprises privées⁴⁵. Il peut encore s'agir de l'acquisition d'une technologie à un prix convenu. L'entreprise peut être payée sur des fonds mobilisés par des pays donateurs. Dans le cadre de la collaboration entre le CIRA et l'entreprise privée, les pays en développement peuvent bénéficier d'une exonération de redevance, ou de conditions abordables en matière de redevance⁴⁶. Le Centre international de la pomme de terre (CIP), situé au Pérou, a ainsi conclu des arrangements avec Plant Genetic Systems, une entreprise belge acquise plus tard par Bayer CropScience, pour utiliser des gènes de *Bt* afin de tester sa lignée de pommes de terre issues du génie génétique⁴⁷.

Le secteur a connu une concentration importante

Tableau 4.2 Exemples d'alliances conclues dans le secteur, 1996-2016

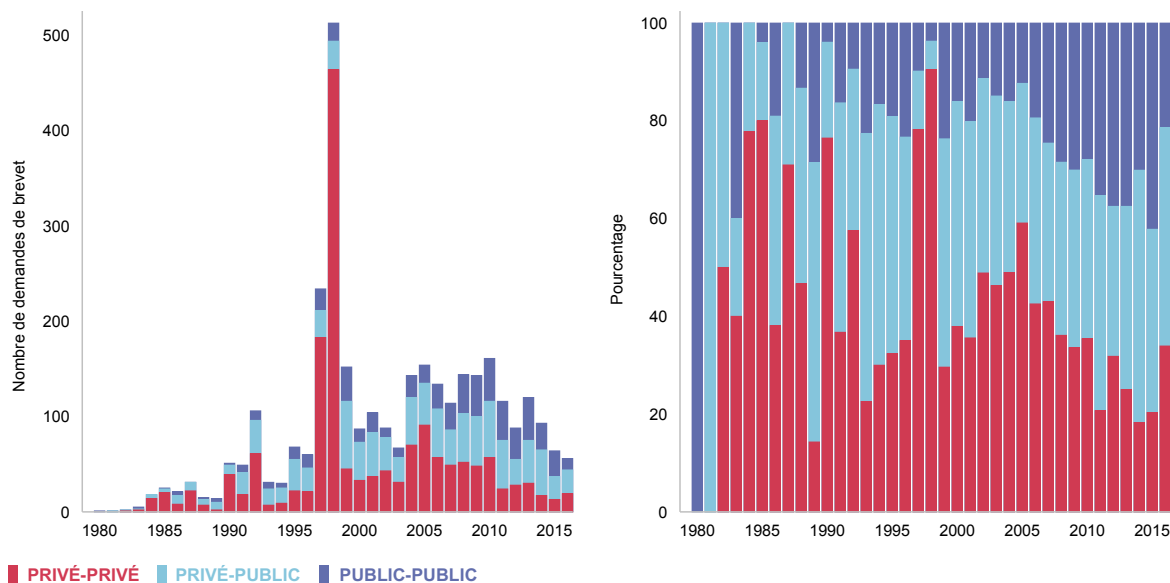
Acquisition de Monsanto [É.-U.] par Bayer [Allemagne] (2016)	
Monsanto [É.-U.] (fusion avec Pharmacia March en 2000; scission complète en août 2002)	Bayer (acquisition d'Aventis CropScience en 2001) [Allemagne]
<p>Biotechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> Agracetus [É.-U.] (1995) Calgene [É.-U.] (1996) Ecogen [É.-U.] (2003) Création d'une coentreprise avec Millennium Pharmaceuticals [É.-U.] (1998) Paradigm Genetics [É.-U.] (2000), rebaptisée Icoria (2004) <p>Semences</p> <ul style="list-style-type: none"> DeKalb [É.-U.] (1996) Asgrow [É.-U.] (1997) Holden's Foundation Seeds [É.-U.] (1997) Cargill International Seeds, Plant Breeding International [É.-U.] (1998) Delta & Pineland [É.-U.] (alliance en 1994; acquisition en 2007) Sensako [Afrique du Sud] (2002); Carnia [Afrique du Sud] (2002); fusionnées ultérieurement sous la dénomination DeKalb Seminis [É.-U.] (2005) Emergent Genetics [É.-U.] (2005) Acquisition de De Ruiter [Pays-Bas] (2008), et de Peotec Seeds S.r.l. [Italie] (2008) par l'intermédiaire de Seminis 	<p>Produits agrochimiques</p> <ul style="list-style-type: none"> Fusion de Hoechst [produits chimiques, Allemagne] avec Schering [produits pharmaceutiques, Allemagne] pour former Hoechst Schering AgrEvo (1994) [Düsseldorf, Allemagne] Fusion de Hoechst (AgrEvo) et Rhône-Poulenc [produits pharmaceutiques, France] avec Aventis CropScience (et absorption par celle-ci de leur division agrochimique) (1999) Acquisition d'Aventis CropScience par Bayer en août 2002 <p>Biotechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> Plant Genetic Systems (PGS) (acquisition par AgrEvo en 1996; intégration par Monsanto en 2002) [Belgique] PlanTech [Japon] (1999) Lion Biosciences (11,3%, 1999) Limagrain (acquisition de la branche semencière canadienne en 2001) [France] <p>Semences</p> <ul style="list-style-type: none"> Nunhems [Pays-Bas], Vanderhave [Pays-Bas], Plant Genetic Systems [Belgique], Pioneer Vegetable Genetics, Sunseeds (1997) [É.-U.] Nunza [légumes], Proagro [Inde] et deux entreprises semencières brésiliennes (1999) Fibermax (création d'une coentreprise avec l'australienne Cotton Seed Inc. en 2000))

Source : données actualisées d'après Pray et Naseem (2003).

Acquisition de Syngenta [Suisse] par ChemChina [Chine] (2017)	Création par scission de Corteva Agriscience [É. U.] (2019), à partir de l'entreprise résultant de la fusion de DuPont et Dow (2015)		BASF [Allemagne]
Syngenta [Suisse]	Dow Chemical [É. U.]; Dow AgroSciences [É. U.]	DuPont [É. U.]	
<p>Produits agrochimiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fusion de Ciba Geigy et Sandoz pour former Novartis [Suisse] (1996) • Acquisition par Novartis [Suisse] de la branche de Merck consacrée aux pesticides pour 910 millions de dollars É. U. (1997) • Fusion de la division de Novartis chargée de l'agriculture [Suisse] et de la branche agrochimique d'AstraZeneca [R. U.] pour former Syngenta [Suisse] (1999) <p>Biotechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acquisition de Modern International N.V. [Pays Bas] par la branche agrochimique de Zeneca [R. U.] (1997) • Conclusion d'une alliance concernant le riz avec Japan Tobacco [Japon] (1999) • Conclusion d'une alliance avec Diversa [É. U.] (2003) • Acquisition de PSA Genetics par Zeneca [produits pharmaceutiques, R. U.] (par l'intermédiaire de sa filiale Garst, 1999) <p>Semences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fusion de Northrup King et Ciba Seeds entraînant le regroupement de S&G Seeds, Hillebrand et Rogers Seed Co (1997) • Scission d'ICI (Imperial Chemical Industries, produits pharmaceutiques et agrochimiques) [R. U.] pour former Zeneca (comprenant ICI Seeds) et ICI PLC (1993) • Intégration de Garst [É. U.] par Zeneca (1996) • Acquisition d'Agripro Seeds [É. U.] (1998) et de Gutwein Seeds (2000) par Zeneca [R. U.], par l'intermédiaire de Garst [É. U.] 	<p>Produits agrochimiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rachat par Dow des 40% de parts détenues par Eli Lilly [É. U.] au capital de Dow Elanco pour 900 millions de dollars É. U. (1997) • Branche agrochimique de Rohm and Haas [É. U.] (2001) <p>Biotechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mycogen (1996) [É. U.] • Ribozyme Pharmaceuticals Inc. [É. U.] (1999) • Conclusion d'un contrat avec Proteome Systems Limited [Australie] (1999) <p>Semences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acquisition d'AgriGenetics [É. U.] par Mycogen (1992) • Intégration d'United AgriSeeds [É. U.] par Mycogen (1996) • Création, par Mycogen [É. U.] et Boswell [É. U.], de la coentreprise Phytogen spécialisée dans les semences de coton (1998) • Création d'une coentreprise avec Danisco Seeds [Danemark] (1999) • Conclusion d'un contrat avec Illinois Foundation Seeds [É. U.] (1999) • Cargill Hybrid Seeds [É. U.] (2000) 	<p>Biotechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conclusion d'alliances avec Human Genome Sciences [É. U.] (1996) • Conclusion d'une alliance avec Curagen [É. U.] (1997) • Acquisition de Verdia auprès de Maxygen [É. U.] pour 65 millions de dollars É. U. (2004) <p>Semences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pioneer [É. U.] (1997, 20%) • Hybrinova [France] (1999) 	<p>Produits agrochimiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acquisition de la branche de Sandoz consacrée aux herbicides du maïs [Suisse] (1996) • Acquisition d'American Cyanamid [É.-U.], filiale d'American Home Products spécialisée dans la protection des cultures, pour 3,8 milliards de dollars É.-U. (2000) <p>Biotechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Création de la coentreprise SunGene [Allemagne] avec l'Institut de phytogénétique et de recherche sur les plantes cultivées [Allemagne] (1998) • Création d'une coentreprise avec l'Institut Max Planck [Allemagne] et Metanomics [Allemagne] (1997) <p>Semences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acquisition de 40% des parts de Svalöf Weibull [Suède] (1999)

Le secteur privé est le principal moteur de l'innovation en matière de biotechnologie agricole, mais les collaborations public-privé et public-public sont en progression

Figure 4.3 Évolution typologique des demandes conjointes de brevet, en nombre (à gauche) et en pourcentage (à droite), 1980-2016



Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT et données concernant le PCT (voir les notes techniques).

Les entreprises privées peuvent collaborer avec les SNRA ou les CIRA à la réalisation de travaux de recherche moyennant la jouissance, dans les pays développés, de droits commerciaux exclusifs sur toute technologie résultant de ces travaux. La technologie en question serait mise à la disposition des pays en développement à un tarif préférentiel. La propriété intellectuelle pourrait également être envisagée selon une démarche "hybride", suivant laquelle l'entreprise privée déposerait des demandes de brevet uniquement dans des pays développés.

Le secteur privé prend lui aussi l'initiative d'établir des collaborations. Par exemple, pour faire de nouvelles inventions, les grandes entreprises spécialisées en sciences de la vie peuvent avoir besoin d'accéder à différentes banques de germoplasmes gérées par divers CIRA et SNRA. Le GCRAI possède une collection de germoplasmes qu'il s'est engagé à maintenir dans le domaine public. L'accès à cette banque de germoplasmes pourrait permettre de mettre au point différentes versions de plantes transgéniques aux fins de leur utilisation dans de nombreuses régions du monde.

Le besoin croissant de collaboration entre les secteurs privé et public suppose l'introduction de certains

changements en ce qui concerne l'utilisation de la propriété intellectuelle. Auparavant, les établissements de recherche de nombreux pays émergents évitaient de recourir au système de la propriété intellectuelle, et s'attachaient plutôt à faciliter le partage des savoirs. Cette vision des choses a évolué. La collaboration entre les deux secteurs – qu'elle vise à favoriser la commercialisation (dans le cas des établissements de recherche) ou à donner accès à des germoplasmes et à des cultivars (dans le cas du secteur privé) – nécessite l'adoption d'une démarche "hybride" quant à l'utilisation de la propriété intellectuelle.

Les données tirées des documents de brevet font apparaître que le nombre de collaborations entre les secteurs privé et public augmente. En moyenne, seulement 18% des demandes de brevet liées à la biotechnologie végétale sont des demandes conjointes⁴⁸. Cela donne toutefois un aperçu insuffisant des activités de collaboration. Les collaborations n'aboutissent pas toutes à de demandes de brevet d'invention, et ce nombre ne permet pas de rendre compte avec exactitude des collaborations entre les différentes filiales des grandes EMN, car en règle générale, seul le siège est mentionné comme déposant dans de nombreuses demandes de brevet émanant d'EMN.

En outre, certaines collaborations public-privé ont lieu pendant la phase de commercialisation, par exemple au cours d'essais en champ, et elles n'entrent généralement pas en ligne de compte dans les données relatives aux demandes de brevet, ni dans les données relatives aux publications scientifiques.

La figure 4.3 illustre le nombre de demandes conjointes déposées par des acteurs privés et publics. Depuis 1999, on observe une tendance à la hausse en ce qui concerne la part des demandes de brevet émanant d'au moins un déposant du secteur public.

4.2 Le paysage de l'innovation dans le domaine de la biotechnologie végétale

Le paysage mondial de l'innovation en matière de biotechnologie végétale s'étend assez largement sur la planète. La figure 4.4 représente le paysage de l'innovation au moyen de deux variables indicatives des activités d'innovation – les demandes de brevet, et les publications scientifiques sous forme d'articles et d'actes de conférence (voir les chapitres 1 et 2) – pour deux périodes allant respectivement de 1998 à 2007 (en haut) et de 2008 à 2017 (en bas).

Elle fait apparaître l'évolution des régions innovantes dans le secteur et illustre la symétrie qui existe généralement entre les demandes de brevet et les publications, au moins dans les principaux pôles de biotechnologie végétale. Sur le plan des activités d'innovation en matière de biotechnologie végétale, les quatre premiers pays sont la Chine, l'Allemagne, le Japon et les États-Unis d'Amérique; la cinquième place est occupée par la Suisse en ce qui concerne les demandes de brevet, et par la France en ce qui concerne les publications scientifiques.

Il ressort également de la figure 4.4 que certaines régions sont davantage orientées vers les brevets, et d'autres, vers les publications scientifiques. Les États-Unis d'Amérique, l'Europe, le Japon et la Chine enregistrent un plus grand nombre de demandes de brevet, tandis que les pays en développement comptent généralement un plus grand nombre de régions où s'effectuent des travaux débouchant sur des publications scientifiques⁴⁹.

La différence entre les résultats de l'innovation selon qu'ils sont envisagés sous l'angle des demandes de

brevet ou des publications scientifiques, telle qu'elle apparaît dans la figure 4.4, peut être sensiblement importante dans le domaine de la biotechnologie végétale. Il y a deux raisons à cela.

Premièrement, la protection par brevet des inventions liées à la biotechnologie végétale est subordonnée à des critères qui diffèrent d'un pays ou territoire à un autre. Par conséquent, l'utilisation des demandes de brevet comme seul indicateur de l'innovation en matière de biotechnologie agricole peut conduire à passer à côté d'importants travaux de recherche réalisés par des scientifiques dans des pays où les possibilités de protection par brevet sont limitées.

Deuxièmement, si les demandes de brevet d'invention et les publications scientifiques permettent toutes deux de mesurer les activités d'innovation, elles présentent des différences marquées. Par exemple, les inventions divulguées conformément aux conditions de protection par brevet peuvent être plus proches de la phase de commercialisation que les résultats des travaux de recherche publiés dans les publications scientifiques, ces derniers pouvant se situer davantage "en amont" et être de nature plus scientifique⁵⁰. En outre, la plupart des activités d'innovation menées aux États-Unis d'Amérique le sont par le secteur privé, qui a généralement recours aux brevets, alors qu'en Chine, ces activités émanent essentiellement des universités et des établissements publics.

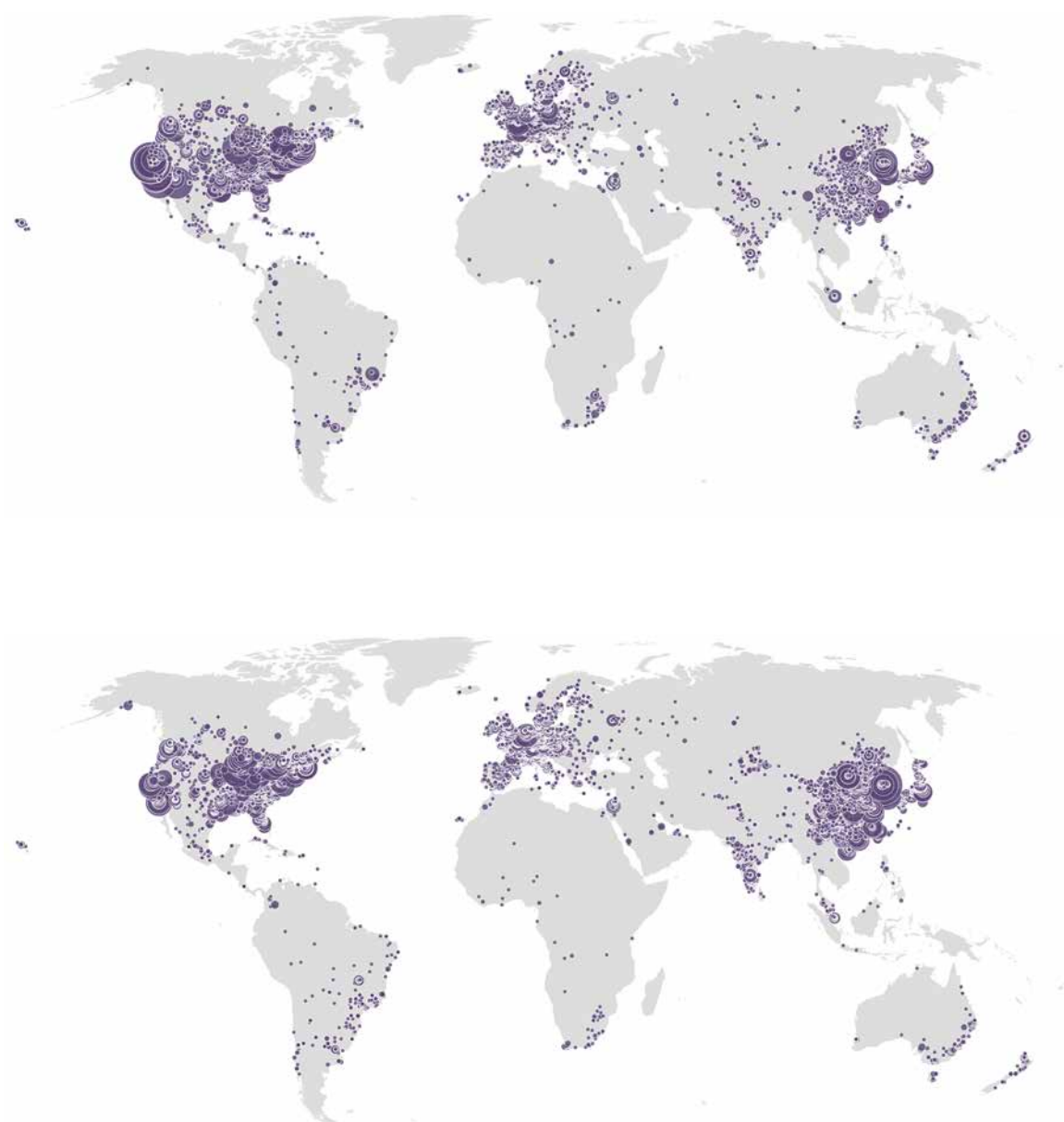
La figure 4.5 présente une carte mondiale des pôles internationaux et nationaux de biotechnologie agricole. Ces pôles se caractérisent par la présence relative importante d'inventeurs et d'auteurs de contributions à la biotechnologie végétale, à l'échelle de l'ensemble des pays (pôles internationaux) et en leur sein (pôles nationaux).

La méthode employée pour recenser ces pôles est exposée dans l'encadré 4.2. Il ressort de celui-ci que seuls les pôles internationaux de biotechnologie végétale sont comparables d'un pays à un autre, tandis que les pôles nationaux peuvent uniquement être comparés d'une région à une autre à l'intérieur d'un même pays.

Les pôles internationaux de biotechnologie végétale donnent à voir la diversité géographique qu'offre le paysage de l'innovation dans ce domaine. Parmi ces pôles figurent les trois principales aires d'innovation que sont les États-Unis d'Amérique, l'Europe, et les pays d'Asie orientale, le Japon et la République de

Une innovation en matière de biotechnologie agricole assez largement répartie depuis les années 2000

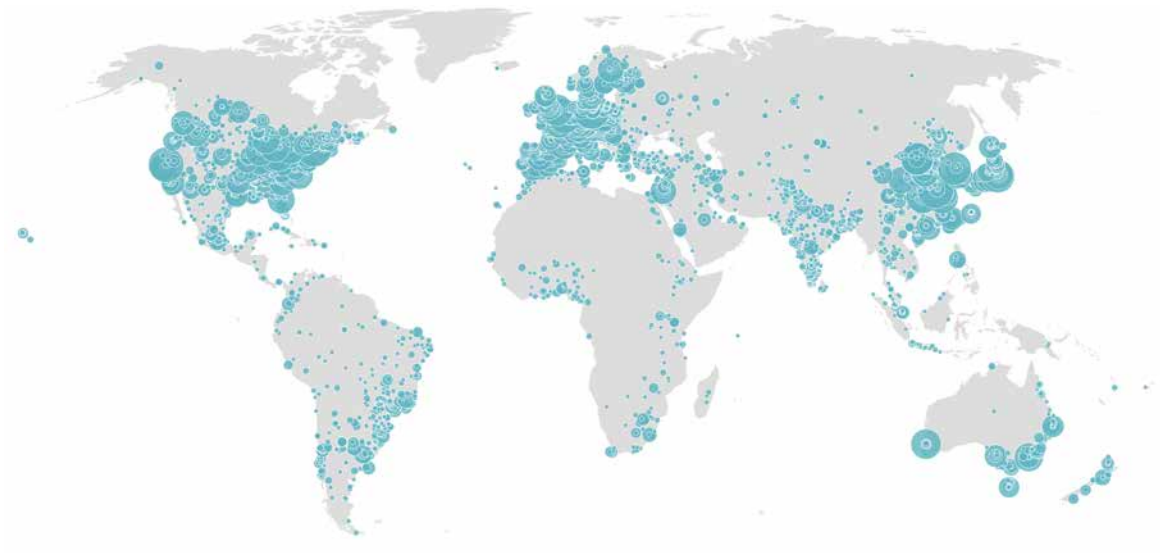
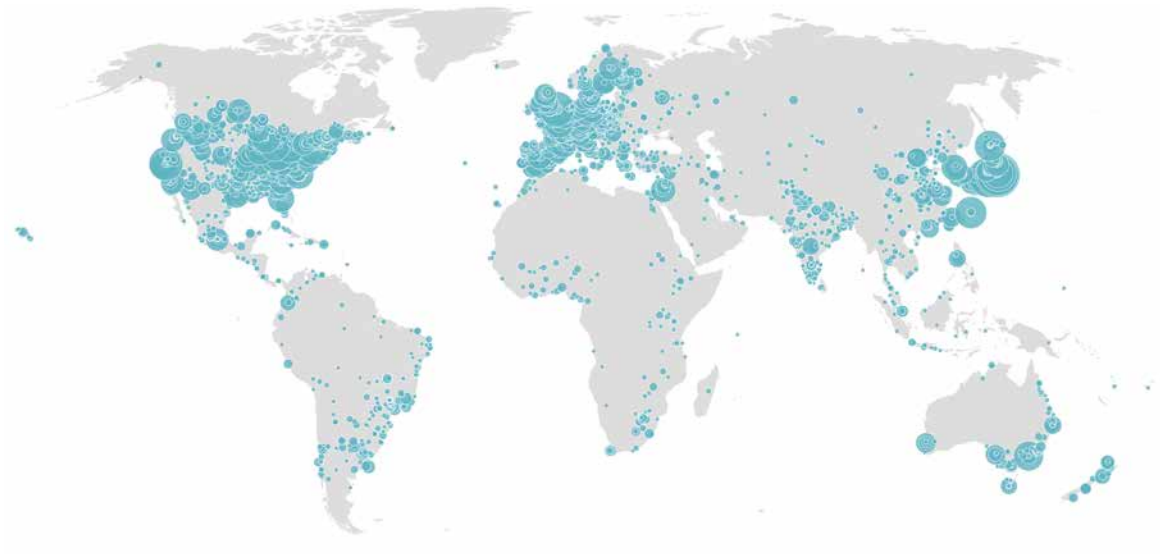
Figure 4.4 Répartition des centres d'innovation en matière de biotechnologie végétale, par nombre de dépôts de demandes de brevet (à gauche) et nombre de publications (à droite), 1998-2007 (en haut) et 2008-2017 (en bas)



■ DEMANDES DE BREVET ■ PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

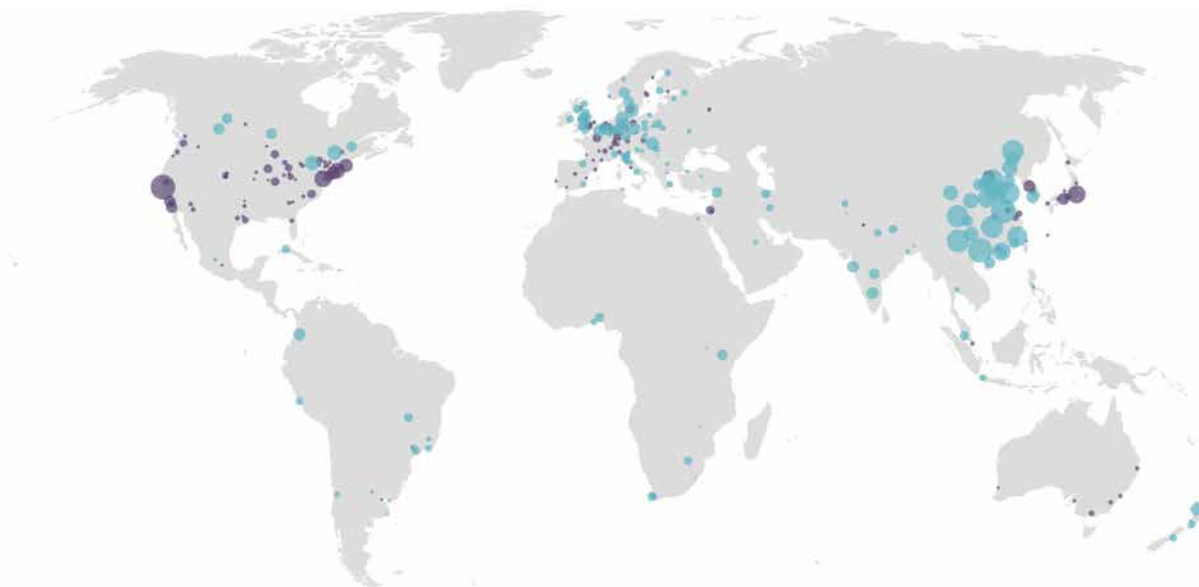
Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT, données concernant le PCT, et données issues de *Web of Science* (voir les notes techniques).

Note: la taille des cercles correspond au volume relatif des demandes de brevet ou des publications scientifiques.



Les pôles de biotechnologie agricole sont disséminés à l'échelle mondiale

Figure 4.5 Répartition mondiale des pôles d'innovation en matière de biotechnologie végétale, 1970-2017



■ PÔLES INTERNATIONAUX DE BIOTECHNOLOGIE VÉGÉTALE ■ PÔLES NATIONAUX DE BIOTECHNOLOGIE VÉGÉTALE

Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT, données concernant le PCT, et données issues de *Web of Science* (voir les notes techniques).

Corée. Ils comprennent également l'Inde, Israël, la Chine et Singapour en Asie, l'Australie en Océanie, et l'Argentine et le Mexique dans la région Amérique latine et Caraïbes. Ces pôles internationaux de biotechnologie végétale sont par ailleurs un reflet des pôles nationaux qui leur sont associés.

Les pays où les activités d'innovation sont importantes ne sont pas tous dotés de pôles internationaux. C'est ainsi qu'au Brésil, un pays en développement de premier plan, les activités d'innovation sont importantes dans ce domaine, mais il n'existe pas de pôle international. Cela s'explique principalement par le fait que ses activités d'innovation en matière de biotechnologie végétale se répartissent entre sept différentes régions qui, prises individuellement, n'atteignent pas les seuils de volume concernant la production de demandes de brevet et d'articles scientifiques (voir l'encadré 4.2). Le mandat de la Société brésilienne de recherche agricole (EMBRAPA), le SNRA du pays, veut que ses activités de recherche soient disséminées sur ses différents campus de recherche au lieu d'être concentrées en son seul siège, situé à Brasilia.

Deux enseignements importants peuvent être tirés de la cartographie mondiale des pôles internationaux et nationaux de biotechnologie végétale. Premièrement, il existe un clivage urbain-rural en ce qui concerne la localisation des centres d'innovation et de l'agriculture visée par l'innovation⁵¹. Dans le secteur de la biotechnologie végétale, la conception de la plupart des innovations et la recherche-développement y afférente sont menées dans des zones urbaines, et non dans des zones agricoles. Les essais en champ sont toutefois réalisés dans des zones rurales, ce qui peut nécessiter d'adapter la plante issue du génie génétique aux conditions agroécologiques locales (les ensembles que forment localement le sol, la configuration du relief et les caractéristiques climatiques) dans le cadre de certaines activités d'innovation⁵².

La figure 4.6 présente une carte des pôles internationaux et nationaux de biotechnologie agricole établie en regard des zones cultivées (nuances de vert) de quatre régions du monde : l'Amérique du Nord, l'Europe, l'Asie et l'Amérique latine. La plupart des pôles internationaux sont plutôt situés dans des zones urbaines.

Par exemple, aux États-Unis d'Amérique, on les trouve dans des villes telles que San Jose, Boston et New York.

Néanmoins, certains pôles sont situés à proximité de zones cultivées. Leur localisation ne doit rien au hasard. La plupart d'entre eux se trouvent dans de grandes universités agricoles, comme les collèges Land-Grant américains évoqués plus haut. Des Moines (Iowa), qui est à la fois une zone agricole et un pôle international de biotechnologie végétale, en est un bon exemple. C'est à Des Moines que sont implantées l'Université de l'État de l'Iowa, qui est une université Land-Grant, et Pioneer Hi-Bred, l'une des premières entreprises de haute technologie spécialisées en biotechnologie agricole.

Encadré 4.2 Le recensement des pôles internationaux et nationaux de biotechnologie agricole

Le recensement des pôles internationaux et nationaux de biotechnologie agricole passe par au moins trois étapes.

Étape 1: recenser les demandes de brevet et les publications scientifiques en rapport avec la biotechnologie végétale

Demandes de brevet: utiliser deux systèmes internationaux de classification des technologies, les codes de la classification internationale des brevets (CIB) et de la classification coopérative des brevets (CPC), en association avec des mots clés, pour trouver une biotechnologie agricole liée à une plante en particulier (voir les notes techniques pour connaître la liste complète des codes et mots clés utilisés dans le cadre de la stratégie de recherche). Les catégories de brevets agricoles comprennent: i) l'amélioration génétique des plantes; ii) la lutte contre les ravageurs des plantes; iii) la fertilité des sols; et iv) les changements climatiques.

Publications scientifiques: utiliser des revues de renom et de haut niveau spécialisées en biotechnologie agricole, en association avec des mots clés concernant une biotechnologie végétale en particulier (voir les notes techniques pour obtenir des informations détaillées).

Étape 2: géocoder l'adresse des inventeurs et des auteurs

L'adresse des auteurs de demandes de brevet

d'invention et d'articles scientifiques en rapport avec la biotechnologie végétale est géocodée et cartographiée. L'adresse de résidence des inventeurs est utilisée telle qu'elle figure sur les documents de brevet, alors que dans le cas des publications scientifiques, l'adresse des auteurs n'est généralement pas divulguée. L'adresse de l'organisme d'affiliation des auteurs est utilisée à titre de remplacement.

Étape 3: établir une distinction entre les pôles nationaux et internationaux

Une fois cartographiées la localisation des demandes de brevet d'invention et celle des publications scientifiques, deux différents seuils sont utilisés pour définir les pôles internationaux et nationaux. Les pôles internationaux sont définis à partir des seules familles de brevets à orientation étrangère, parallèlement aux articles scientifiques publiés. Ces demandes de brevet doivent avoir été déposées soit auprès d'un office de propriété intellectuelle autre que celui du pays de résidence du déposant, soit auprès d'au moins un office de propriété intellectuelle étranger, par exemple auprès d'un office national et d'un office étranger. Les brevets dont la demande a été déposée auprès d'un office international des brevets, comme l'Office européen des brevets, ou par l'intermédiaire du Traité de coopération en matière de brevets (PCT), sont également considérés comme des familles de brevets à orientation étrangère.

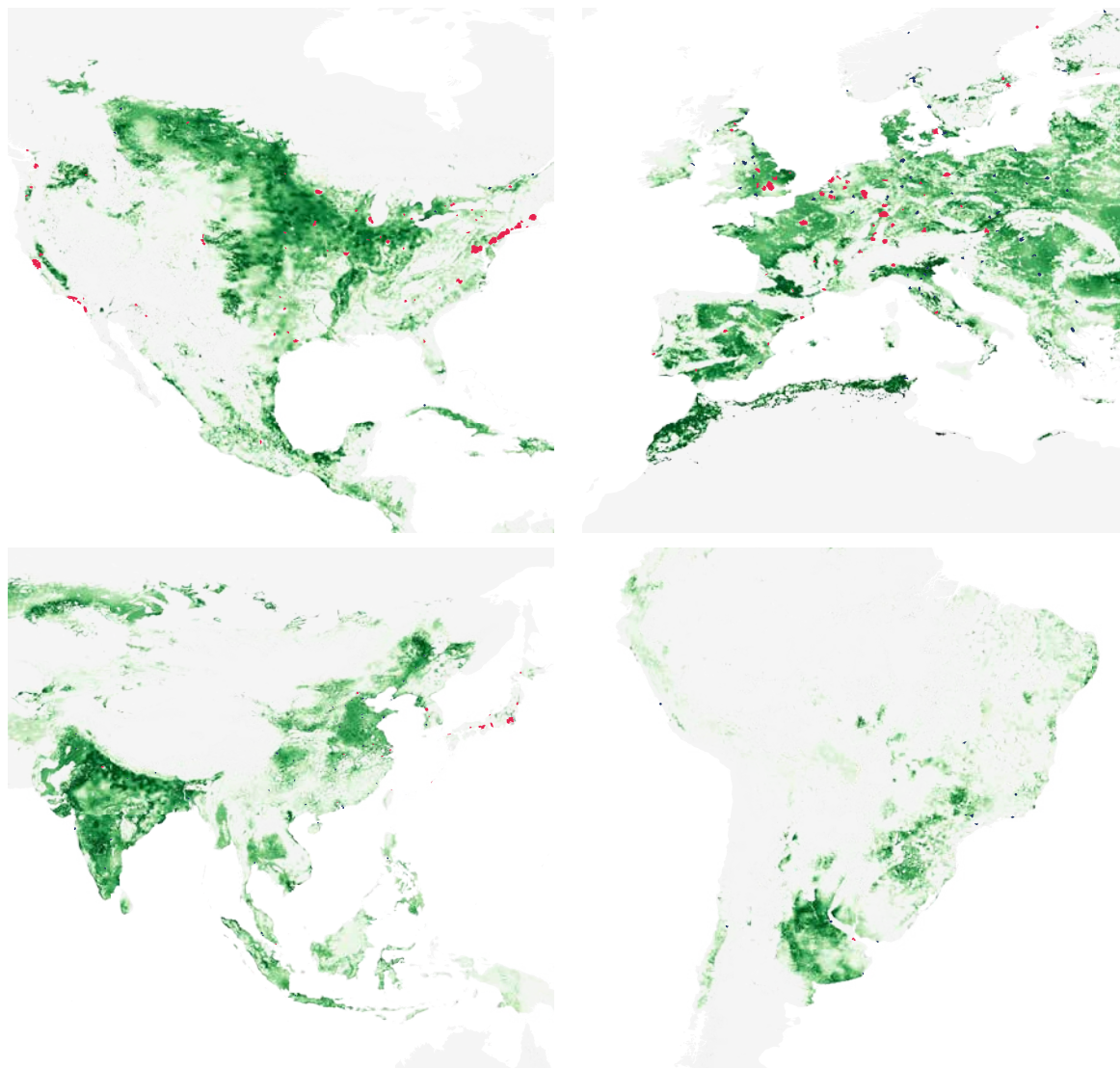
Les pôles nationaux sont définis à partir de toutes les familles de brevets, parallèlement aux publications scientifiques. Les familles de brevets comprennent les brevets isolés, qui sont des brevets dont la demande est déposée auprès de l'office de propriété intellectuelle du pays de résidence du déposant, et nulle part ailleurs.

Le classement comme pôle international est fonction d'un seuil global applicable tant aux demandes de brevet à orientation étrangère qu'aux publications scientifiques. Les pôles nationaux sont uniquement définis à partir d'un seuil propre à chaque pays.

Les pôles internationaux se distinguent ainsi des pôles nationaux à deux principaux égards. Premièrement, seules les familles de brevets à orientation étrangère entrent en ligne de compte dans la détermination des pôles internationaux. Les pôles nationaux, à l'inverse, sont définis à partir de l'ensemble des demandes de brevet déposées par

L'innovation se produit loin des terres cultivées

Figure 4.6 Localisation des terres cultivées et des centres d'innovation en matière de biotechnologie végétale



■ PÔLES INTERNATIONAUX DE BIOTECHNOLOGIE VÉGÉTALE ■ PÔLES NATIONAUX DE BIOTECHNOLOGIE VÉGÉTALE

Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT, données concernant le PCT, et données issues de *Web of Science* (voir les notes techniques). Données relatives aux terres cultivées, d'après Ramankutty *et al.* (2008). Note: les zones vertes représentent les terres cultivées et les pâturages vers l'an 2000.

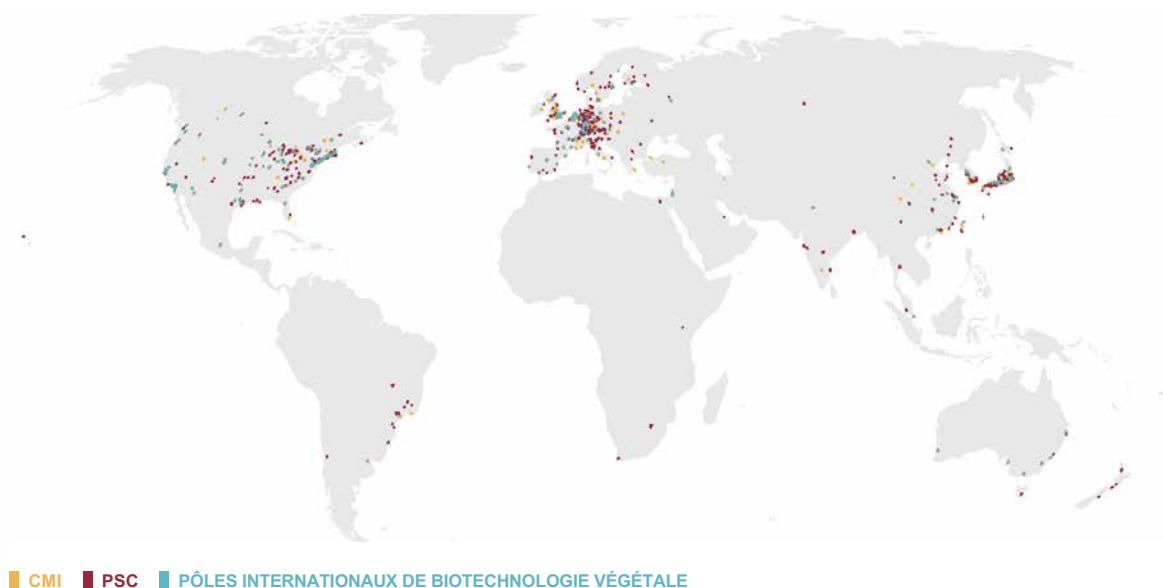
les résidents d'un pays, y compris celles visant des brevets isolés et des brevets à orientation étrangère. Deuxièmement, le seuil fixé au niveau international est fondé sur le volume moyen des demandes de brevet et des articles scientifiques attribués à telle ou telle région du monde. Au niveau national, le seuil est déterminé au regard du volume moyen des demandes de brevet et des publications scientifiques attribuées à une région donnée à l'intérieur d'un pays.

Seuls les pôles internationaux sont comparables d'un pays à un autre.

Note: voir les encadrés 2.1 et 2.2 du chapitre 2. Voir aussi la liste de définitions figurant dans l'annexe de la publication OMPI (2018).

Les activités d'innovation sont généralement concentrées, et plus particulièrement dans des zones métropolitaines

Figure 4.7 Répartition mondiale de l'innovation (CMI, PSCP et pôles internationaux de biotechnologie végétale)



Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT, données concernant le PCT, et données issues de *Web of Science* (voir les notes techniques).

Dans de nombreux pays en développement, les pôles internationaux et nationaux de biotechnologie végétale sont à proximité de leurs SNRA respectifs, qui se trouvent généralement dans des zones agricoles. Le CIMMYT, situé à Texcoco, est à environ une heure de trajet de Mexico, tandis que l'Institut national de technologie agricole (INTA) de l'Argentine est situé à Buenos Aires. L'Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides, qui relève du GCRAI, se trouve à Patancheru, près de Hyderabad (Inde), tandis que l'IRRI, situé à Los Baños (Philippines), est à environ une heure de trajet de Dasmariñas. Au Brésil, les pôles nationaux sont au même endroit que les centres de l'EMBRAPA. Tous ces SNRA se trouvent dans un rayon de 50 km autour des pôles nationaux de biotechnologie agricole.

La présence de ces établissements agricoles est susceptible d'entraîner la création d'écosystèmes régionaux favorables aux nouvelles entreprises de haute technologie, ainsi qu'aux services de recherche-développement des entreprises du secteur. Samad et Graff (2020) montrent que le facteur le plus déterminant du nombre d'inventions futures dans une région donnée

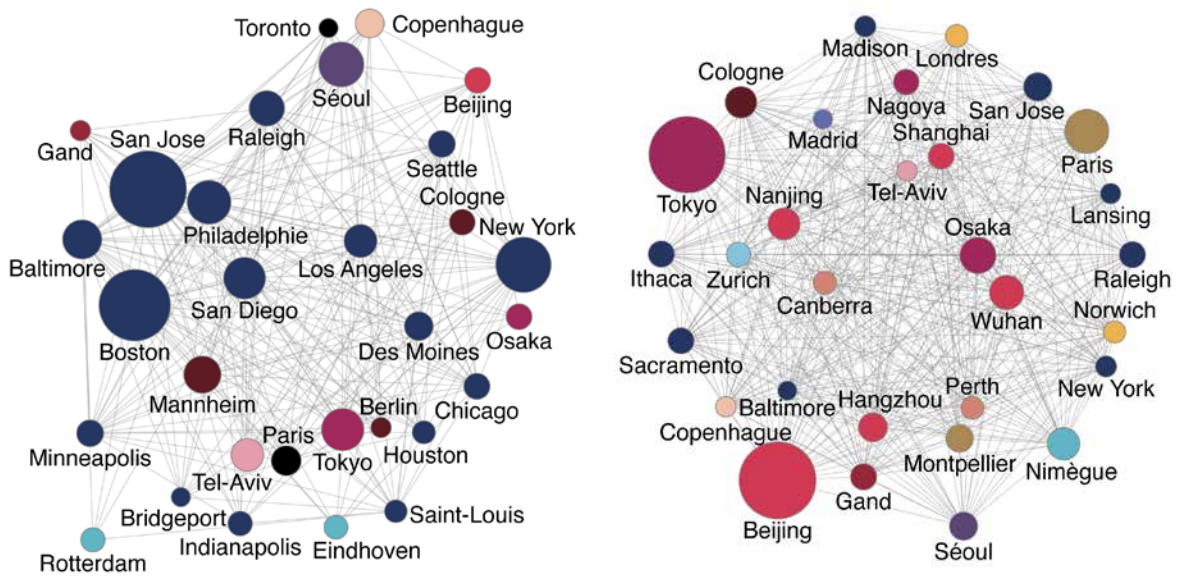
est le nombre d'inventions précédemment réalisées dans cette région. Ce lien illustre la nature "adhésive" des investissements fixes dans l'infrastructure du savoir et le capital humain d'une région (le fait qu'il n'est pas aussi facile de transférer du savoir que de l'information d'un lieu à un autre), ainsi que la nature localisée des externalités de savoir (voir le chapitre 1).

Deuxièmement, comme il a été dit, la plupart des pôles internationaux de biotechnologie végétale sont concentrés dans des zones métropolitaines. La figure 4.7 présente la localisation de ces pôles internationaux, parallèlement aux centres mondiaux d'innovation (CMI) et aux groupes de niche spécialisés, tels qu'ils sont définis dans le chapitre 2 du présent rapport.

De puissantes forces agglomérantes influent sur la localisation des régions innovantes dans le domaine de la biotechnologie végétale. Le fait de se regrouper dans des régions où les activités d'innovation sont importantes, qu'elles se rapportent ou non à une biotechnologie végétale en particulier, permet aux chercheurs des secteurs tant public que privé de bénéficier des externalités de savoir (voir le chapitre 2). Ils

Une plus grande ouverture dans le champ des publications scientifiques que dans celui des brevets? La collaboration entre les pôles de biotechnologie végétale est plus fréquente et plus importante dans le domaine des publications scientifiques que dans le cadre des activités en matière de brevets

Figure 4.8 Liens entre les 30 premiers pôles internationaux de biotechnologie selon les dépôts de demandes de brevet (à gauche) et les publications scientifiques (à droite), 2010-2017

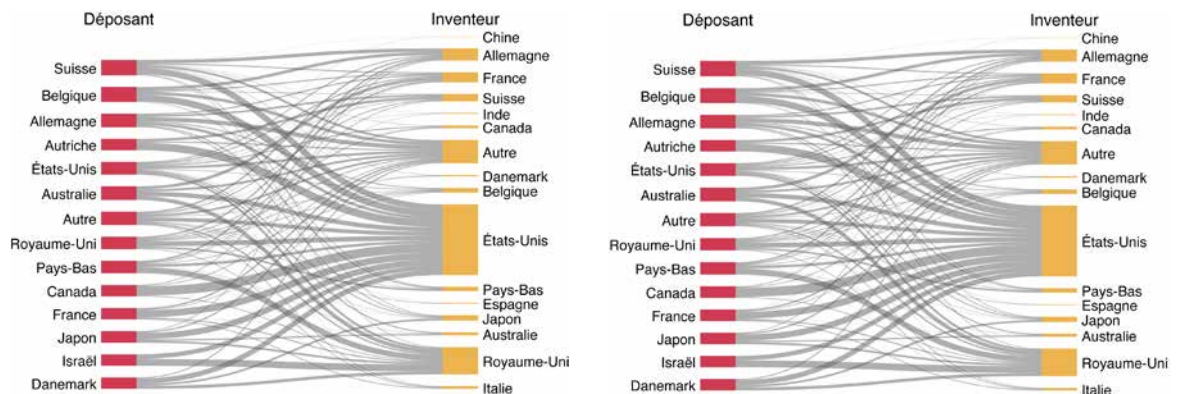


Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT, données concernant le PCT, et données issues de *Web of Science* (voir les notes techniques).

Note: la taille des cercles correspond au volume relatif des demandes de brevet ou des publications scientifiques.

Les chercheurs spécialisés en biotechnologie agricole résident généralement aux États-Unis d'Amérique

Figure 4.9 Comparaison des 10% de liens déposant-inventeur les plus importants se rapportant à des brevets à orientation étrangère, 1970-1999 (à gauche) et 2000-2017 (à droite)



Source: OMPI, données extraites de la base de données PATSTAT, données concernant le PCT, et données issues de *Web of Science* (voir les notes techniques).

Note: la figure porte uniquement sur les familles de brevets à orientation étrangère. En outre, les liens déposant-inventeur qui y sont présentés concernent les cas où le déposant et l'inventeur ne résident pas dans le même pays.

peuvent par exemple tirer parti de la présence d'autres industries innovantes et de travailleurs spécialisés et qualifiés œuvrant dans le même domaine, parmi lesquels certains pourraient présenter un intérêt et une utilité et favoriser de nouveaux progrès technologiques dans le secteur de la biotechnologie agricole⁵³.

4.3 Le réseau de l'innovation en matière de biotechnologie végétale

Les principaux pôles d'innovation dans le domaine de la biotechnologie agricole se trouvent, sans surprise, dans les pays qui investissent le plus dans la recherche-développement agricole.

La figure 4.8 présente une illustration schématique des liens existant entre les 30 premiers pôles internationaux selon les demandes de brevet d'invention (à gauche) et les publications scientifiques (à droite) pour la période 2010-2017. Ces liens reposent sur la copaternité des inventions et des publications à l'échelle interrégionale. Dans la figure, la taille des cercles représente le volume des demandes de brevet d'invention (ou des publications scientifiques) dans les pôles considérés, tandis que l'épaisseur des lignes représente la fréquence de leurs échanges. La couleur des cercles correspond au pays auquel les pôles se rattachent.

C'est aux États-Unis d'Amérique, au Canada, en Europe, et notamment en Allemagne, en France, aux Pays-Bas, au Danemark et au Royaume-Uni, et dans des pays d'Asie orientale (Japon, République de Corée et Chine) que se trouvent la plupart des pôles internationaux selon les demandes de brevet d'invention liées à la biotechnologie agricole⁵⁴. Comme dans le cas de la biotechnologie, la distance n'est pas toujours le principal critère qui détermine les liens entre pôles.

Par exemple, les échanges entre les inventeurs des deux plus grands pôles internationaux, San Jose et New York (séparés par une distance de près de 4724 km), sont plus fréquents qu'ils ne le sont entre San Jose et San Diego (séparés par environ 739 km). Les inventeurs de Rotterdam (Pays-Bas) mettent plus souvent au point des co-inventions avec des inventeurs de San Diego qu'avec leurs compatriotes d'Eindhoven.

Une tendance similaire est à l'œuvre en ce qui concerne les pôles internationaux selon les articles scientifiques publiés. La taille et les échanges de ces pôles sont

toutefois plus variés et plus importants. Les deux plus grands pôles selon les publications se trouvent à Beijing et à Tokyo. Les pôles américains ne sont pas aussi visibles qu'ils le sont sur le plan des demandes de brevet.

Il n'en reste pas moins que c'est de loin les États-Unis d'Amérique qui comptent le plus grand nombre de pôles internationaux selon les deux indicateurs de l'innovation : 16 pôles selon les demandes de brevet, et 8 selon les publications scientifiques. Ils sont suivis par l'Allemagne, qui compte trois pôles internationaux selon les demandes de brevet, et par la Chine, qui compte six pôles internationaux selon les publications scientifiques.

Les pôles de biotechnologie agricole comparables au niveau international recensés à l'aide des deux indicateurs font apparaître le rôle central que les États-Unis d'Amérique jouent dans l'innovation en matière de biotechnologie végétale. L'importance des États-Unis d'Amérique au regard des pôles internationaux de biotechnologie végétale s'explique en partie par le nombre et la compétence de ses inventeurs et chercheurs spécialisés. Si l'on considère le pays de résidence de la plupart des inventeurs, notamment lorsqu'il n'est pas celui du déposant de la demande de brevet, on constate que les États-Unis d'Amérique tiennent une place absolument centrale en tant que "réservoir" de chercheurs en biotechnologie agricole.

La figure 4.9 présente la localisation des chercheurs en biotechnologie végétale, établie à partir de demandes de brevet pour lesquelles le déposant (à gauche) et l'inventeur (à droite) n'ont pas le même pays de résidence. La figure de gauche concerne les liens déposant-inventeur pour la période 1970-1999, et celle de droite, la période 2000-2017. Les lignes reliant le déposant à l'inventeur sont des variables indicatives de l'importance du lien : plus la ligne est épaisse, plus les échanges sont fréquents.

Durant ces deux périodes, de nombreux déposants de demandes de brevet résidant à l'extérieur des États-Unis d'Amérique étaient à la recherche de chercheurs et de scientifiques américains. Le fait que des universités et des établissements publics des États-Unis d'Amérique sont à l'origine d'un grand nombre de découvertes majeures réalisées dans le champ de la biotechnologie agricole est une des raisons pour lesquelles les scientifiques et les chercheurs américains sont fortement convoités. Une autre explication

est que les entreprises privées américaines ont souvent été les premières à réaliser des investissements stratégiques dans la recherche d'applications commerciales de la biotechnologie végétale. La combinaison de ces facteurs accroît le poids des États-Unis d'Amérique dans le réseau de l'innovation en matière de biotechnologie agricole.

4.4 L'avenir de la biotechnologie végétale

Trois faits nouveaux intervenus dans le domaine de la biotechnologie végétale pourraient transformer le réseau mondial d'innovation actuel. Les récentes percées accomplies sur le plan de la biologie moléculaire ouvrent de nouvelles perspectives de recherche, et donc d'application, de la biotechnologie végétale. L'adaptation de CRISPR-Cas9 est susceptible de redynamiser la recherche sur l'amélioration génétique des plantes et des animaux d'élevage. En outre, cette technologie devenant plus abordable, elle pourrait permettre de "démocratiser" l'innovation en matière de biotechnologie agricole⁵⁵. Ce dernier progrès, associé au rôle croissant des pays en développement dans cette branche de l'innovation, pourrait se traduire par une répartition plus homogène du réseau mondial de l'innovation. Les pôles des différentes régions du monde pourraient rapidement apporter des contributions importantes qui permettraient de renforcer la sécurité alimentaire de façon efficace et durable.

Par ailleurs, grâce à de nouvelles applications de capteurs et de l'intelligence artificielle destinées à systématiser la détermination du phénotype et des caractères physiques des organismes, les liens entre génotype, caractères physiques et phénotype pourraient être établis beaucoup plus efficacement et précisément qu'auparavant. La capacité conjuguée de "lire", "écrire" et "modifier" des séquences de nucléotides ouvre de nouvelles possibilités technologiques en ce qui concerne l'amélioration génétique des plantes et des animaux d'élevage.

La deuxième évolution susceptible de faire changer le paysage mondial de l'innovation et d'accroître la participation des pays en développement au réseau mondial de l'innovation est le récent changement de position du GCRAI à l'égard des droits de propriété intellectuelle⁵⁶. Auparavant, le GCRAI s'attachait à veiller à ce que les travaux de ses membres puissent

être partagés et soient aisément accessibles à tous; il se montrait réticent envers le caractère exclusif des droits de propriété intellectuelle. Cette position a évolué. Le GCRAI a reconnu l'importance qu'il y avait à collaborer avec le secteur privé, et a commencé à utiliser les droits de propriété intellectuelle pour encourager ce type de collaboration et de partenariats, et pour stimuler l'innovation.

Enfin, en juillet 2018, la Cour de justice de l'Union européenne (CJUE) a statué que les plantes obtenues à l'aide de technologies de modification des gènes, comme CRISPR-Cas9, seraient assujetties aux mêmes règlements que les OGM. La technique CRISPR-Cas9 permet de modifier la constitution d'une plante, son ADN, sans toutefois introduire de matériel étranger; et elle aurait sans doute pu ne pas être soumise à ces règlements. La CJUE a toutefois jugé que la technique était, malgré tout, assujettie à la directive de la Commission européenne. Des scientifiques et des chercheurs affirment que cet arrêt pourrait avoir pour effet d'intensifier le déplacement de la recherche-développement dans le domaine de la biotechnologie végétale à l'extérieur de l'Europe. Si cela se vérifie, l'arrêt entraînera de nouveaux changements au niveau du paysage et des réseaux de l'innovation en matière de biotechnologie végétale.

Notes

- 1 Le présent chapitre se fonde sur Graff et Hamdan-Livramento (2019).
- 2 Parmi les autres méthodes traditionnelles, on trouve l'hybridation ou le greffage.
- 3 Définition de la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique (CDB). Celle-ci diffère légèrement de celle de la Biotechnology Innovation Organization (BIO), une grande association industrielle. Celle-ci définit la biotechnologie comme "une technologie fondée sur la biologie [qui] exploite les processus cellulaires et biomoléculaires pour développer des technologies et des produits qui contribuent à améliorer nos vies et la santé de notre planète" (www.bio.org/what-biotechnology).
- 4 Graff *et al.* (2003).
- 5 FAO (2003).
- 6 Le terme "biotechnologie agricole" diffère de celui de "biotechnologie végétale" en ce sens que le premier se réfère à l'industrie générale, tandis que le second s'applique à un domaine particulier de la biotechnologie agricole. Le terme "biotechnologie végétale" est utilisé de façon interchangeable avec "biotechnologie des cultures".
- 7 Le premier médicament sous licence utilisant la technologie de l'ADNr a été l'insuline humaine, produite par Genetech et vendue à Eli Lilly and Company (Johnson, 1983).
- 8 Kenny (1988).
- 9 La proximité entre les humains et les animaux. Les humains font partie de la catégorie des mammifères du règne animal, ce qui facilite la transition entre la santé humaine et la santé animale.
- 10 Carrer *et al.* (2010). Les termes "organismes génétiquement modifiés" et "génétiquement améliorés" sont utilisés de façon interchangeable dans le présent chapitre. Un autre terme utilisé en parallèle est celui de "cultures transgéniques".
- 11 Voir Alvarez-Morales (2000).
- 12 Les brevets ont un caractère territorial. Cela signifie qu'un brevet délivré dans un pays ou une juridiction n'est pas nécessairement applicable dans un autre. Les inventeurs qui veulent s'assurer que leur invention est protégée contre toute imitation d'un pays à l'autre doivent déposer des demandes de brevet pour la même invention dans ces juridictions.
- 13 Parmi les autres formes de protection de la propriété intellectuelle pour les plantes, on peut citer le système de protection des variétés végétales et les brevets sur les espèces végétales (spécifiques des États-Unis d'Amérique). Toutefois, ces deux instruments n'entrent pas dans le champ d'application du présent document et ne sont pas abordés ici.
- 14 Barton (2000).
- 15 Voir Eisenberg (1996) et Heller et Eisenberg (1998).
- 16 Barton et Berger (2001).
- 17 Brennan (1980).
- 18 Un autre instrument servant à protéger l'innovation relative aux plantes est le système de protection des obtentions végétales de l'Union internationale pour la protection des obtentions végétales (UPOV). Le présent chapitre ne traite pas de ce droit.
- 19 Figueiredo *et al.* (2019). Voir Teece (1986) et Rothaermel (2001) pour plus d'informations sur l'importance des actifs complémentaires.
- 20 Voir Eckerstorfer *et al.* (2019) pour un aperçu des différents cadres réglementaires existants.
- 21 Voir Glowka (2003) et Komen (2012).
- 22 Voir Graff et Hamdan-Livramento (2019), et Brenner et Komen (1994).
- 23 Voir la décision rendue par l'OMC dans l'affaire DS291 : Communautés européennes – Mesures affectant l'approbation et la commercialisation des produits biotechnologiques (www.wto.org/french/tratop_f/dispu_f/cases_f/ds291_f.htm).
- 24 Pour la liste des règlements et directives sur les OGM, voir ec.europa.eu/food/plant/gmo/legislation_en
- 25 Sont inclus les 28 pays de l'UE (excepté les pays pour lesquels les données sont incomplètes, à savoir Malte, la Bulgarie et la Pologne). Le Portugal, l'Espagne et le Royaume-Uni figurent sur la liste des pays d'Europe qui cultivent encore des plantes transgéniques.
- 26 USDA Foreign Agricultural Service (2018).
- 27 ISAAA (2017). En 2012, BASF a annoncé la fermeture de SunGene, sa principale usine de biotechnologie à Gatersleben (Allemagne), afin de se concentrer sur les marchés d'Amérique du Nord et du Sud à partir de 2013. Voir www.sungene.de.
- 28 Voir Commission européenne (2004, 2009); National Science Council (1987, 1998); FAO (2003, 2004).
- 29 L'acronyme "CRISPR" désigne les "courtes répétitions palindromiques

- groupées et régulièrement espacées” alors que “Cas9” désigne la protéine Cas9 associée aux CRISPR.
- 30 Wright (2012). Voir Alston *et al.* (2010) et Olmstead et Rhode (2011) pour en savoir plus sur la façon dont ces Land-Grant colleges ont été utiles à l’industrie agricole aux États-Unis d’Amérique.
- 31 Voir le chapitre 2 de la publication FAO (1996) pour plus de précisions sur les conditions agroécologiques.
- 32 Byerlee et Fischer (2002) et FAO (2004).
- 33 Barry et Hosch (2000).
- 34 Voir FAO (2004), et Serageldin et Persley (2000).
- 35 Bijman et Tait (2002).
- 36 Clancy *et al.* (2016).
- 37 Komen et Persley (1993), Persley (2000) et Fukuda-Parr (2006).
- 38 Kalaitzandonakes et Bjornson (1997) ont compté 167 fusions-acquisitions et alliances stratégiques entre des startups et des multinationales entre 1981 à 1985 et 801 fusions entre 1991 et 1996.
- 39 Voir Kalaitzandonakes (2000); Fulton et Giannakas (2001); Tait *et al.* (2002); et OCDE (2018).
- 40 Howard (2015).
- 41 Voir OCDE (2018) et Fuglie *et al.* (2012). L’OCDE (2018, p. 104) a passé en revue la littérature empirique sur la concentration dans l’industrie semencière et son incidence sur l’innovation. L’étude conclut qu’il y a peu de preuves de l’incidence négative de la concentration sur l’innovation d’après les données historiques.
- 42 Fukuda-Parr (2006).
- 43 Huang *et al.* (2002).
- 44 Byerlee et Fischer (2002).
- 45 Voir Barton et Berger (2001).
- 46 Pinstrip-Andersen et Cohen (2003).
- 47 Voir International Potato Center (1995).
- 48 On entend par “codemandes” les demandes de brevet pour lesquelles au moins deux déposants sont indiqués dans le document.
- 49 D’autres régions, outre celles présentées dans ce chapitre, devraient sans doute être prises en considération dans ce chapitre. En d’autres termes, les chiffres concernant les régions couvertes par les publications scientifiques pourraient être sous-estimés. Cela vient du fait que les chiffres obtenus concernant les articles sur les biotechnologies végétales dépendent de la méthode de calcul utilisée. Ici, ces chiffres s’appuient sur les principales revues sur les biotechnologies végétales. D’autres revues moins prestigieuses, mais qui pourraient contenir des contributions tout aussi pertinentes, sont exclues.
- 50 Voir Griliches (1990).
- 51 Samad et Graff (2020) constatent également cet écart entre les régions urbaines et rurales lorsqu’ils examinent les centres d’innovation des régions de biotechnologie agricole des États-Unis d’Amérique.
- 52 Voir Graff et Hamdan-Livramento (2019) pour plus d’informations sur la procédure à suivre pour cultiver des plantes transgéniques.
- 53 Hermans *et al.* (2008).
- 54 Voir l’annexe de Graff et Hamdan-Livramento (2019) pour une liste détaillée des principaux pôles par nombre de brevets et d’articles scientifiques publiés, respectivement.
- 55 Voir Mahfouz *et al.* (2014) et Shwartz (2018).
- 56 Voir CGIAR (2006, 2013).

Références

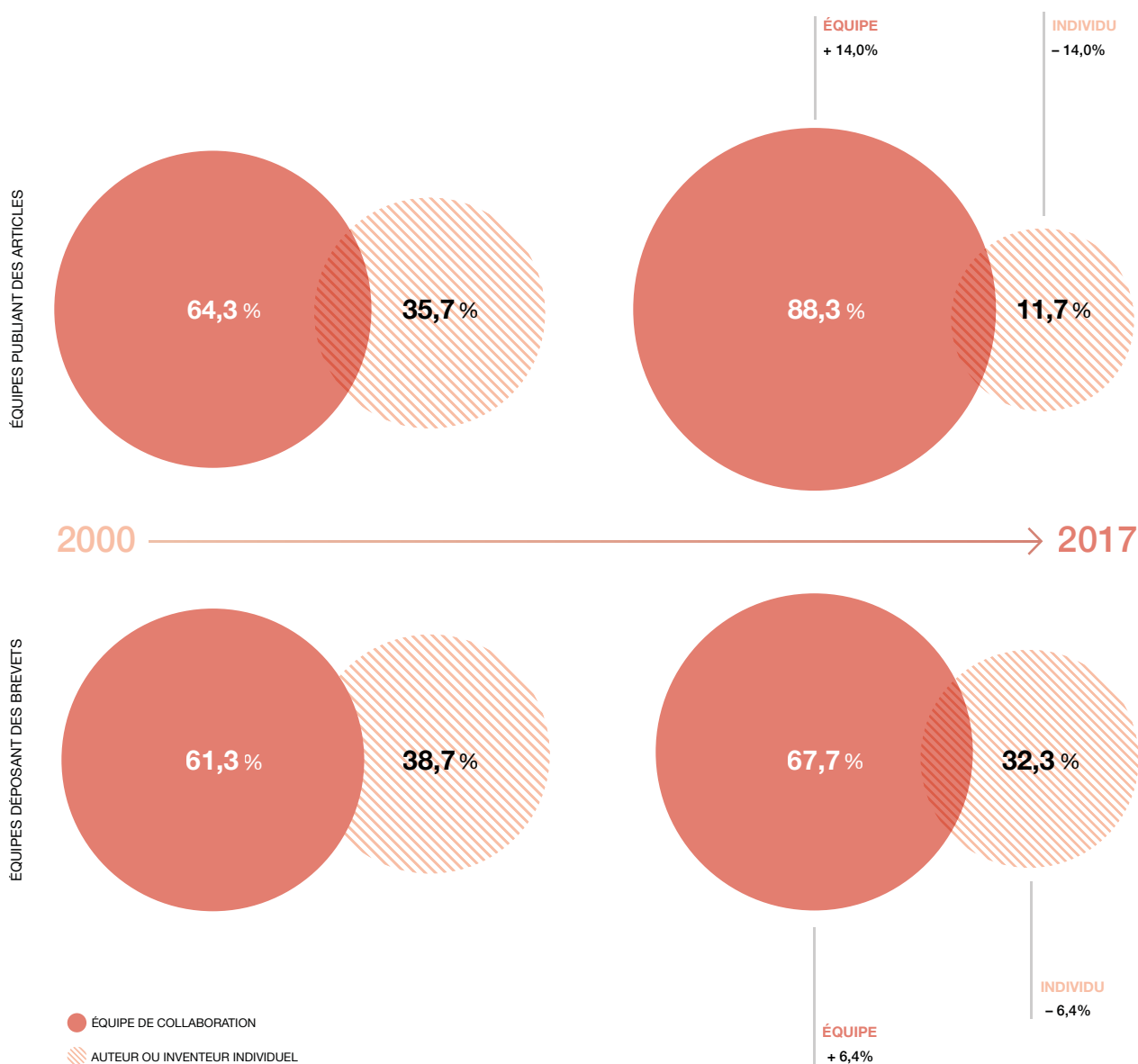
- Alston, J. M., M. A. Andersen, J. S. James et P. G. Pardey (2010). Persistence Pays: *US Agricultural Productivity Growth and the Benefits from Public R&D Spending*, Natural Resource Management and Policy, Zilberman, D., R. Goetz et A. Garrido (éd.), vol. 34. New York: Springer.
- Alvarez-Morales, A. (2000). Mexico: ensuring environmental safety while benefiting from biotechnology. In Persley, G. J. et M. M. Lantin (éd.), *Agricultural Biotechnology and the Poor: Proceedings of an International Conference, Washington, D.C., 21-22 October 1999*. Washington, D.C.: Consultative Group on International Agricultural Research.
- Babinard, J. (2001). A short history of agricultural biotechnology. In Nelson, G.C. (ed.), *Genetically Modified Organisms in Agriculture*. Londres: Academic Press, 271-274. doi.org/10.1016/B978-012515422-2/50029-1
- Barry, G. et R. Horsch (2000). Evolving role for the public and private sector in agricultural biotechnology in developing countries. In Persley, G. J. et M. M. Lantin (éd.), *Agricultural Biotechnology and the Poor*. Washington, D.C.: Consultative Group on International Agricultural Research, 183-185.
- Barton, J. H. (2000). Intellectual property, biotechnology, and international trade: two examples. *World Trade Forum*, 3, 1-15.
- Barton, J. H. et P. Berger (2001). Patenting agriculture. *Issues in Science and Technology*, 17(4). issues.org/barton
- Bijman, J. et J. Tait (2002). Public policies influencing innovation in the agrochemical, biotechnology and seed industries. *Science and Public Policy*, 29(4), 245-251. doi.org/10.3152/147154302781780895
- Brennan, A. A. (1980). Patentability of micro-organisms: Diamond v. Chakrabarty, 100 S. Ct. 2204. *Akron Law Review*, 14(2), 341-349.
- Brenner, C. et J. Komen (1994). International Initiatives in Biotechnology for Developing Country Agriculture: Promises and Problems. *Document de travail du Centre de développement de l'OCDE n° 100*. Paris: Éditions OCDE. doi.org/10.1787/257557587410
- Brookes, G. (2018). The farm level economic and environmental contribution of Intacta soybeans in South America: the first five years. *GM Crops & Food*, 9(3), 140-151. doi.org/10.1080/21645698.2018.1479560
- Byerlee, D. et K. Fischer (2002). Accessing modern science: policy and institutional options for agricultural biotechnology in developing countries. *World Development*, 30(6), 931-948. [doi.org/10.1016/S0305-750X\(02\)00013-X](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(02)00013-X)
- Carrer, H., A. L. Barbosa et D. A. Ramiro (2010). *Biotecnologia na agricultura. Estudos Avançados*, 24(70), 149-164. doi.org/10.1590/S0103-40142010000300010
- CGIAR (2006). *CGIAR Research Strategies for IPG in a Context of IPR: Report and Recommendations Based on Three Studies*. Rome: Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale. ispc.cgiar.org/sites/default/files/ISPC_IPGStrategiesIPR.pdf
- CGIAR (2013) *Implementation Guidelines for the CGIAR Principles on the Management of Intellectual Assets*.
- Clancy, M., K. Fuglie et P. Heisey (2016, November 10). U.S. Agricultural R&D in an era of falling public funding. *Amber Waves*. www.ers.usda.gov/amber-waves/2016/november/us-agricultural-rd-in-an-era-of-falling-public-funding
- Eckerstorfer, M.F., M. Engelhard, A. Heissenberger, S. Simon et H. Teichmann (2019). Plants developed by new genetic modification techniques – comparison of existing regulatory frameworks in the EU and non-EU countries. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7. doi.org/10.3389/fbioe.2019.00026
- Eisenberg, R. S. (1996). Intellectual property issues in genomics. *Trends in Biotechnology*, 14(8), 302-307. [doi.org/10.1016/0167-7799\(96\)10040-8](https://doi.org/10.1016/0167-7799(96)10040-8)
- Commission européenne (2004). “Des plantes d’avenir”: un projet pour la biotechnologie végétale en Europe à l’horizon 2025, EUR 21359 FR. Bruxelles: Direction générale de la santé et de la sécurité alimentaire de la Commission européenne.

- Commission européenne (2009). Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, Comité économique et social européen et au Comité des régions – évaluation à mi-parcours de la mise en œuvre du plan d'action communautaire en faveur de la diversité biologique. *Journal of International Wildlife Law & Policy*, 12(1-2), 108-120. doi. [org/10.1080/13880290902938435](https://doi.org/10.1080/13880290902938435)
- FAO (1996). *Zonage agroécologique – Directives*, Bulletin pédologique de la FAO, n° 73. Rome: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. [w2962e00.htm#P-2](https://www.fao.org/docrep/w2962e00.htm#P-2)
- FAO (2003). *World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO Perspective*. Rome: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- FAO (2004). La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2003-2004. *Les biotechnologies agricoles – Une réponse aux besoins de plus démunis?* Rome: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. www.fao.org/3/Y5160E/y5160e00.htm#TopOfPage
- Figueiredo, L. H. M., A. G. Vasconcellos, G. S. Prado et M. F. Grossi-de-Sa (2019). An overview of intellectual property within agricultural biotechnology in Brazil. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(1), 69-79. doi. [org/10.1016/j.biori.2019.04.003](https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.04.003)
- Fuglie, K. O., J. L. King, P. W. Heisey et D. E. Schimmelpennig (2012). Rising concentration in agricultural input industries influences new farm technologies. *Amber Waves*, 10(4). ageconsearch.umn.edu/record/142404
- Fukuda-Parr, S. (éd.) (2006). *The Gene Revolution: GM Crops and Unequal Development*. Londres et Sterling: Earthscan.
- Fulton, M. et K. Giannakas (2001). Agricultural biotechnology and industry structure. *AgBioForum*, 4(2), 137-151.
- Glowka, L. (2003). *Law and Modern Biotechnology*, Étude législative de la FAO. Rome: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Graff, G. et I. Hamdan-Livramento (2019). Racines mondiales de l'innovation en matière de biotechnologie. *Document de recherche économique de l'OMPI n° 59*. Genève: Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle.
- Graff, G., A. Heiman, C. Yarkin et D. Zilberman (2003). Privatization and Innovation in agricultural biotechnology. *ARE Update*, 6(3), 5-7.
- Graff, G., et D. Zilberman (2007). The political economy of intellectual property: re-examining European Policy on plant biotechnology. In J. Kesan (éd.), *Intellectual Property Protection for Agricultural Biotechnologies: Seeds of Change*. Wallingford: CABI Press.
- Griliches, Z. (1990). Patent statistics as economic indicators: a survey. *Journal of Economic Literature*, 28(4), 1661-1707.
- Heller, M. A. et R. S. Eisenberg (1998). Can patents deter innovation? The anticommons in biomedical research. *Science*, 280, 698-701. doi. [org/10.1126/science.280.5364.698](https://doi.org/10.1126/science.280.5364.698)
- Hermans, R., A. Löffler et S. Stern (2008). Biotechnology. In J. T. Macher et D. C. Mowery (éd.), *Innovation in Global Industries: U.S. Firms Competing in a New World (Collected Studies)*. Washington, D. C.: The National Academies Press. doi. [org/10.17226/12112](https://doi.org/10.17226/12112)
- Howard, P. H. (2015). Intellectual property and consolidation in the seed industry. *Crop Science*, 55 (novembre-décembre). www.apbrebes.org/files/seeds/files/Howard_seed_industry_patents_concentration_2015.pdf
- Huang, J., R. Hu, Q. Wang, J. Keeley, et J. F. Zepeda (2002). Agricultural biotechnology development, policy and impact in China. *Economic and Political Weekly*, 37(27), 2756-2761.
- International Potato Center (1995). *Program Report 1993-1994*. Lima, Pérou: International Potato Center.
- ISAAA (2017). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years* (ISAAA Briefs n° 53). Ithaca, NY: International Service for the Acquisition of AgriBiotech Applications.
- Johnson, I. S. (1983). Human insulin from recombinant DNA technology. *Science*, 219(4585), 632-637. doi. [org/10.1126/science.6337396](https://doi.org/10.1126/science.6337396)
- Kalaitzandonakes, N. G. et B. Bjornson (1997). Vertical and horizontal coordination in the agrobiotechnology industry: evidence and implications. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 29(1), 129-139. doi. doi.org/10.1017/S1074070800029187

- Kalaitzandonakes, N. G. (2000). Agrobiotechnology and Competitiveness. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(5), 1224-1233.
- Kenny, M. (1988). *Biotechnology: The University-Industrial Complex*. New Haven: Yale University Press.
- Klümper, W. et M. Qaim (2014). A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *PLOS ONE*, 9(11), e111629. doi.org/10.1371/journal.pone.0111629
- Komen, J. (2012). The emerging international regulatory framework for biotechnology. *GM Crops & Food*, 3(1), 78-84. doi.org/10.4161/gmcr.19363
- Komen, J. et G. J. Persley (1993). *Agricultural Biotechnology in Developing Countries: A CrossCountry Review* (ISNAR Research Report n° 2). La Haye: International Service for National Agricultural Research.
- Mahfouz, M. M., A. Piatek et C. N. Stewart (2014). Genome engineering via TALENs and CRISPR/Cas9 systems: challenges and perspectives. *Plant Biotechnology Journal*, 12(8), 1006-1014. doi.org/10.1111/pbi.12256
- National Research Council (1987). *Agricultural Biotechnology: Strategies for National Competitiveness* (Report of the Committee on a National Strategy for Biotechnology in Agriculture). Washington, D.C.: National Research Council.
- National Research Council (1998). *Designing an Agricultural Genome Program. Report of the Board on Biology and Board on Agriculture*. Washington, D. C.: The National Academy Press.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2018). *Concentration in Seed Markets: Potential Effects and Policy Responses*. Paris: Éditions OCDE.
- Olmstead, A. L. et P. W. Rhode (2011). Adapting North American wheat production to climatic challenges, 1839-2009. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(2), 480-485. doi.org/10.1073/pnas.1008279108
- Persley, G. J. (2000). Agricultural biotechnology and the poor: Promethean science. In Persley, G. J. et M. M. Lantin (éd.), *Agricultural Biotechnology and the Poor*. Washington D.C.: Consultative Group on International Agricultural Research, 3-21.
- Persley, G. J. et J. N. Siedow (1999). *Applications of biotechnology to crops: benefits and risks*, Council for Agricultural Science and Technology Issue Paper n° 12.
- Pinstrup-Andersen, P. et M. J. Cohen (2003). Biotechnology and the CGIAR. In Plenderleith, K. et P. De Meyer (éd.), *Sustainable Agriculture in the New Millennium: The Impact of Biotechnology on Developing Countries*. Bruxelles: Friends of the Earth Europe.
- Pray, C. E. et A. Naseem (2003). The Economics of Agricultural Biotechnology Research. *ESA Working Paper n° 03-07*. Rome: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. tempref/docrep/fao/007/ae040/ae040e00.pdf
- Ramankutty, N., A. T. Evan, C. Monfreda et J. A. Foley (2008). Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(1), GB1003. doi.org/10.1029/2007GB002952
- Rothaermel, F. T. (2001). Complementary assets, strategic alliances, and the incumbent's advantage: an empirical study of industry and firm effects in the biopharmaceutical industry. *Research Policy*, 30(8), 1235-1251.
- Samad, G. et G. D. Graff (2020). The urban concentration of innovation and entrepreneurship in agricultural and natural resource industries. In Iftikhar, M. N., J. B. Justice et D. B. Audretsch (éd.), *Urban Studies and Entrepreneurship*. Cham: Springer International Publishing, 91-116. doi.org/10.1007/978-3-030-15164-5_6
- Serageldin, I. et G. J. Persley (2000). *Promethean Science: Agricultural Biotechnology, the Environment, and the Poor*. Washington, D.C.: Consultative Group on International Agricultural Research. documents.worldbank.org/curated/en/698501468739325409/Promethean-science-agricultural-biotechnology-the-environment-and-the-poor
- Sheldon, I. M. (2004). Europe's regulation of agricultural biotechnology: precaution or trade distortion? *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, 2(2), 1-28.

- Shwartz, M. (2018). CRISPR is a revolutionary gene-editing tool, but it's not without risk. *Stanford Medicine*, Winter. stanmed.stanford.edu/2018winter/CRISPR-for-gene-editing-is-revolutionary-but-it-comes-with-risks.html
- Tait, J., J. Chataway et D. Wield (2002). The life science industry sector: evolution of agro-biotechnology in Europe. *Science and Public Policy*, 29(4), 253-258.
- Teece, D. J. (1986). Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research Policy*, 15(6), 285-305. [doi.org/10.1016/0048-7333\(86\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0048-7333(86)90027-2)
- The Arabidopsis Genome Initiative (2000). Analysis of the genome sequence of the flowering plant *Arabidopsis thaliana*. *Nature*, 408(6814), 796-815. doi.org/10.1038/35048692
- United States Department of Agriculture (USDA) Foreign Agricultural Service (2018). *EU-28: Agricultural Biotechnology Annual*, GAIN Report No. FR1827. Global Agricultural Information Network. gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Agricultural%20Biotechnology%20Annual_Paris_EU-28_12-14-2018.pdf
- OMPI (2018). *Indicateurs mondiaux relatifs à la propriété intellectuelle*. Genève: Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle.
- Wright, B. D. (2012). Grand missions of agricultural innovation. *Research Policy*, 41(10), 1716-1728. doi.org/10.1016/j.respol.2012.04.021
- Zilberman, D., C. Yarkin et A. Heiman (1997). Agricultural Biotechnology: Economic and International Implications. Paper presented at the International Agricultural Economics Association, Sacramento, Californie, août. are.berkeley.edu/~zilber11/yark.pdf

La technologie devenant plus complexe, l'innovation est de plus en plus axée sur la collaboration. Pour que de grandes équipes à compétences multiples puissent se développer, le savoir doit pouvoir circuler librement au-delà des frontières.



Perspectives de politique générale : plaidoyer en faveur de l'ouverture

L'innovation a toujours transcendé les frontières et les continents. Au début du XXe siècle, les frères Wright aux États-Unis d'Amérique et Alberto Santos-Dumont au Brésil ont inventé les premiers avions capables de voler. Mais le développement de l'avion moderne doit beaucoup aux progrès scientifiques effectués en Europe, qui ont expliqué pourquoi ces machines plus lourdes que l'air pouvaient voler¹. Les technologies agricoles qui ont déclenché la révolution verte après la Seconde Guerre mondiale ont été développées et diffusées grâce à des partenariats entre les fondations Ford et Rockefeller aux États-Unis d'Amérique et un grand nombre d'instituts de recherche agricole de pays en développement². De même, Tim Berners-Lee a inventé le World Wide Web à l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN), consortium de recherche installé à la frontière franco-suisse et financé par 23 pays, européens pour la plupart³.

Comme l'a montré ce rapport, l'innovation est aujourd'hui extrêmement concentrée au niveau local et en même temps axée sur l'international. Différentes forces d'agglomération ont favorisé la création de pôles d'innovation, généralement dans de grandes régions métropolitaines, avec en tête un groupe restreint de pôles de concentration, situé au cœur des réseaux mondiaux d'innovation. Différents liens formels et informels relient les nœuds de ces réseaux, les multinationales y jouant un rôle clé. Les dossiers de brevets et les publications scientifiques montrent qu'au cours des dernières décennies, ces liens ont pris de plus en plus une dimension transfrontalière.

L'innovation s'est internationalisée grâce à la technologie en elle-même. Les progrès effectués notamment dans le domaine des technologies de l'information et de la communication (TIC) ont favorisé la diffusion de savoir sur de longues distances. Ce qui est crucial cependant, c'est que la croissance des réseaux mondiaux d'innovation repose sur des politiques favorisant l'ouverture et la coopération internationale. Toutefois, un tel environnement d'ouverture et de coopération ne doit pas être considéré comme acquis, le grand public se montrant notamment de plus en plus sceptique à l'égard des avantages de la mondialisation en général depuis quelques années.

Ce dernier chapitre de conclusion revient donc sur le plaidoyer prononcé pour l'ouverture en faveur de l'innovation, principalement sous un angle économique. Parfois, le principe même d'un partenariat et le choix du mode de partenariat avec des innovateurs étrangers soulèvent des questions de sécurité nationale, dépassant le cadre de ce chapitre.

5.1 L'économie de l'ouverture

L'ouverture des systèmes nationaux d'innovation suppose le libre-échange de savoir entre les pays. Le savoir peut traverser les frontières lorsque les chercheurs communiquent entre eux ou lorsqu'ils lisent des revues scientifiques et des documents de brevet publiés à l'étranger. L'ouverture s'opère aussi

via le commerce international, lorsque des produits ou services contiennent en eux un savoir, et elle peut s'opérer également via les migrations lorsque ce sont des personnes qui contiennent en elles un savoir.

Quels sont les effets des restrictions appliquées à la circulation internationale du savoir sur les économies nationales et sur le monde dans son ensemble? Tout dépend essentiellement du type de savoir concerné par ces restrictions, des capacités des systèmes nationaux d'innovation, des structures de production et d'emploi et de la nature du processus de croissance économique. Si elle n'apporte pas de conclusion précise, la littérature économique formule toutefois quelques recommandations à suivre concernant les effets des restrictions en matière de circulation de savoir. Ce chapitre en propose une synthèse.

Les avantages de la spécialisation

Pour simplifier, il convient de considérer le savoir comme n'importe quel autre produit. De même que la production automobile demande du capital et de la main-d'œuvre, la production de savoir nouveau a besoin d'innovation.

La restriction de la circulation de savoir à l'échelle internationale a donc un effet sur le mode d'affectation des ressources par les pays aux différentes activités de production. De ce point de vue, les prédictions traditionnelles de la théorie du commerce international s'appliquent. Et surtout, l'ouverture donne lieu à des structures de production et d'échanges commerciaux permettant aux économies de se spécialiser en fonction de leur avantage comparatif. Les économistes spécialistes des échanges commerciaux estiment généralement que la spécialisation est le résultat de deux forces en présence⁴:

- *Différences dans les dotations en facteurs de production.* Une économie richement dotée en capital se spécialisera dans la production de produits à forte intensité de capital et exportera ces produits. À l'inverse, une économie richement dotée en main-d'œuvre se spécialisera dans la production de produits à forte intensité de main-d'œuvre et exportera ces produits.
- *Variétés différenciées et économies d'échelle.* Lorsque les produits se présentent dans des variétés différenciées, par exemple différentes marques de voiture, et que la *production* de ces variétés

entraîne des économies d'échelle, les pays se spécialiseront dans certaines variétés qu'ils exporteront et en importeront d'autres.

Ces prédictions peuvent apporter des éclaircissements sur des aspects importants de la géographie mondiale de l'innovation. L'innovation exige une main-d'œuvre hautement qualifiée; c'est pourquoi l'activité la plus innovante se trouve dans des pays à revenu élevé où cette main-d'œuvre est relativement nombreuse. En même temps, les multinationales décident de localiser certaines activités de recherche-développement dans des pays en développement tels que la Chine et l'Inde parce qu'elles y trouvent de la main-d'œuvre hautement qualifiée et moins payée – ce qui entre tout à fait dans le cadre d'un avantage comparatif⁵.

La notion de variétés différenciées, pour sa part, trouve son équivalent dans la spécialisation de différents pôles d'innovation dans le monde. Par exemple, il existe de nombreux pôles d'innovation spécialisés dans la technologie médicale, chacun proposant un savoir spécifique, introuvable ailleurs. Cela génère une circulation de savoir dans les deux sens, même entre des pays qui se ressemblent. Les réseaux mondiaux d'innovation jouent alors le rôle d'intermédiaires dans cette circulation de savoir.

Selon la théorie du commerce, les échanges commerciaux fondés sur des avantages comparatifs génèrent des gains mutuels. Ces gains peuvent se présenter sous la forme d'une hausse de la rentabilité et d'une plus grande variété de produits disponibles pour les entreprises et les consommateurs finaux. Étant donné la nature très spécifique des résultats de l'innovation, l'effet de la variété semble particulièrement important pour les échanges de savoir.

Outre ces gains mutuels, la théorie du commerce soutient également que des échanges commerciaux ouverts ont un effet sur la répartition des revenus dans les pays. Ces effets sont plus marqués si les différences en dotation en capital et en main-d'œuvre accroissent le commerce international. Autrement dit, ces effets sont plus importants pour le commerce entre économies dissemblables, en particulier entre des économies à différents stades de développement. Comme exposé ci-après, ces effets en termes de répartition sont importants pour l'élaboration de politiques.

L'innovation, bien public mondial

Si l'on considère que le savoir est un produit comme un autre, on peut expliquer plus facilement certains aspects importants du paysage mondial de l'innovation. Cette vision demeure toutefois très simplifiée et ne tient pas compte des particularités de la production et de la consommation de savoir.

Le savoir présente avant tout les caractéristiques de ce que les économistes appellent un bien public : un grand nombre de personnes peuvent l'utiliser simultanément, sans en restreindre l'utilisation par les personnes qui le produisent⁶. Par exemple, les fondements scientifiques de l'intelligence artificielle proviennent de quelques organismes scientifiques seulement mais sont utilisés dans un grand nombre d'innovations pour un vaste éventail d'applications dans le monde entier⁷.

Dans la pratique, les possibilités de partage du savoir sont limitées. L'un des principes de la recherche en géographie économique est que le savoir ne circule pas librement à l'intérieur des pays et entre les pays ; il suit des schémas et des orientations géographiques spécifiques⁸. Notamment parce que pour intégrer et appliquer un savoir de pointe, il faut posséder des qualités hautement spécialisées, qui sont rares⁹. Par ailleurs, certaines formes de savoir nécessitent une intervention humaine pour circuler. C'est là précisément l'une des raisons majeures de la concentration de l'innovation (voir chapitre 1)¹⁰.

Cependant, dans la mesure où le savoir est à la hauteur de sa qualité de bien public, est-ce que cela change le plaidoyer en faveur de l'ouverture ? En réalité, cela le renforce. Si la circulation du savoir génère des avantages économiques à l'étranger sans restreindre l'utilisation de ce savoir dans son pays d'origine, l'ouverture ne peut qu'apporter des gains mutuels.

Innovation et croissance

L'innovation se distingue des autres produits fabriqués dans le pays sur un autre plan tout aussi important. Grâce à l'innovation, les entreprises peuvent prendre une longueur d'avance sur leurs concurrents. Un innovateur qui réussit peut gagner des parts de marché au détriment d'une entreprise qui n'est pas à la pointe du progrès. L'innovation axée sur la concurrence améliore à son tour la productivité et la croissance économique à long terme.

Les analystes appliquent, aux économies dans leur ensemble, la même logique qu'aux entreprises qui sont en concurrence sur la scène mondiale. Les économies qui réussissent à innover devraient donc présenter une croissance plus rapide que les économies qui ne parviennent pas à innover¹¹. Dans un monde à somme nulle, une restriction de la circulation du savoir permettrait au pays de rester à la pointe de l'innovation et d'éviter de se retrouver "à la traîne", derrière des pays qui, eux, réussissent à innover.

Au début, la littérature économique internationale rejetait ces scénarios "simplistes" à somme nulle. Les économies dans leur ensemble se distinguent de manière importante des entreprises. D'une part, les économies dans leur ensemble ne peuvent pas faire faillite. Si, dans un secteur en particulier, des entreprises sortent du marché ou perdent des parts de marché à cause de la concurrence étrangère, elles libèrent de la main-d'œuvre et du capital qui peuvent être utilisés ailleurs dans l'économie.

Dans les secteurs qui gagnent des parts du marché international, c'est l'inverse. Ils attirent de la main-d'œuvre et du capital venant d'ailleurs dans l'économie. D'autre part, grâce à une croissance plus rapide de leur productivité, les économies qui innoveraient s'agrandissent, et la demande de produits étrangers augmente.

Encadré 5.1 Principes théoriques de la politique commerciale stratégique

Dans les années 1980 et au début des années 1990, une partie de la théorie du commerce consistait à analyser les circonstances dans lesquelles le fait de s'écarter des politiques de libre-échange pourrait améliorer le niveau de bien-être. De nombreux modèles sous-jacents portaient sur des marchés imparfaitement concurrentiels et des politiques commerciales permettant d'augmenter la part des bénéfices économiques excédentaires affluant dans les économies nationales¹². D'autres théories plus complexes expliquaient que l'innovation encourageait la croissance à long terme. Ces dernières théories sont exposées de manière très détaillée dans l'ouvrage de Gene Grossman et Elhanan Helpman (1991).

Dans les modèles en question, les entreprises investissent dans des activités de recherche-développement pour en tirer des rentes économiques sur des marchés de produits imparfaitement

concurrentiels. Les forces en présence sur les marchés concurrentiels, quant à elles, maintiennent les mesures d'incitation engagées pour continuer d'investir dans des activités de recherche-développement, générant ainsi les gains de productivité nécessaires à la poursuite de la croissance sur le long terme. Sachant que la concurrence entre les entreprises se joue sur la scène mondiale, les modèles analysent l'interdépendance des processus de croissance dans différents pays.

Les prédictions découlant de ces modèles confirment tout d'abord l'optimisme général exprimé dans le texte : les interactions au niveau mondial créent des forces accélérant la croissance dans chacun des pays. Mais elles révèlent aussi pourquoi ce n'est pas toujours le cas. Par exemple :

- Supposons qu'un pays ait un désavantage comparatif en recherche, en raison d'une insuffisance de main-d'œuvre hautement qualifiée. En s'intégrant au reste du monde, il pourrait être amené à se spécialiser dans des activités moins dynamiques, entraînant une croissance plus lente de sa production en général.
- Supposons que le savoir ne circule pas facilement au-delà des frontières parce que l'ingénierie inverse est difficile à réaliser ou parce que cela exige des compétences inexistantes dans les pays bénéficiaires, comme décrit dans le texte. L'intégration peut alors amener les économies de petite taille ou réalisant traditionnellement peu de recherche à se spécialiser dans des activités de production industrielle, les empêchant de lancer une activité d'innovation. En réalité, de petites différences dans les conditions initiales des pays peuvent entraîner des différences permanentes dans la croissance de leur productivité.

Avec de telles forces en présence, la politique commerciale stratégique et les politiques connexes pourraient tout à fait transformer les modes de production et modifier l'évolution de la croissance. Dans la pratique, il est difficile de réussir à mettre en œuvre de telles politiques. Le choix des instruments à utiliser pour y parvenir dépend essentiellement des conditions initiales, de l'évolution de la concurrence et des possibilités technologiques. L'évolution de la technologie et ses répercussions sur les marchés étant hautement incertaines, se constituer la bonne palette de politiques dans une perspective d'avenir est un défi colossal.

Globalement, l'innovation conduit à un ajustement des prix, des salaires et des taux de change, ce qui provoque des changements dans les structures de production et d'échanges commerciaux. De toute évidence, les pays qui réussissent à innover connaîtront, à long terme, une croissance économique plus rapide que ceux qui n'y parviennent pas. Toutefois, cela ne veut pas dire que la réussite d'un pays contraint un autre à réussir de la même manière. Le savoir étant un bien public, l'innovation peut contribuer à une croissance de la productivité partout.

Malgré cet optimisme général, les résultats d'un pays en matière d'innovation déterminant ses structures de production et d'échanges commerciaux, on peut très bien imaginer que le pays finisse par se spécialiser dans des activités qui accélèrent ou, au contraire, ralentissent sa croissance. Une restriction stratégique des échanges commerciaux et des flux de savoir pourrait donc influencer sur les structures de production et ainsi favoriser une croissance plus rapide à l'intérieur du pays. Voir l'encadré 5.1 qui résume les théories sur les conditions aboutissant à une situation "à somme nulle".

Quant à savoir si ces conditions existent en pratique, il s'agit là finalement d'une question empirique, à laquelle il est difficile de répondre avec rigueur. En effet, on ne sait pas comment les différents pays se comporteraient s'ils étaient soumis à des politiques commerciales et politiques sur le flux de savoir différentes. Cependant, si l'on regarde la croissance réelle des pays au cours des dernières décennies dans le monde entier, on s'aperçoit que depuis quarante ans, les pays à revenu élevé d'aujourd'hui connaissent une croissance similaire. Avant 1980, le revenu par habitant des plus pauvres des pays à revenu élevé a augmenté plus rapidement que celui des plus riches des pays à revenu élevé. Puis cette convergence s'est ralentie (figure 5.1). Malgré des différences qui persistent en termes de revenu par habitant, les pays les plus avancés se sont développés globalement au même rythme depuis les années 1990 (figure 5.2). Cette tendance peut signifier que les nouvelles technologies se sont répandues uniformément dans les pays déjà en avance technologiquement et qu'elles ont stimulé la croissance dans des proportions comparables.

En dehors du groupe des pays à revenu élevé, les pays ont connu des croissances différentes. Depuis longtemps, il y avait des écarts de revenus dans le monde¹³.

Même rythme de croissance pour les pays à revenu élevé

Figure 5.1 Coefficient de Gini, PIB réel par habitant, groupe des pays à revenu élevé

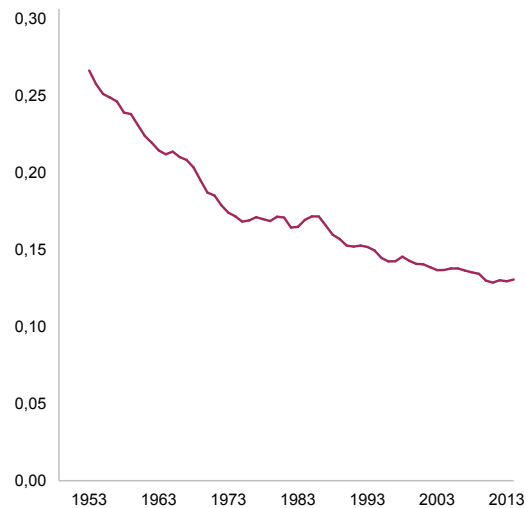
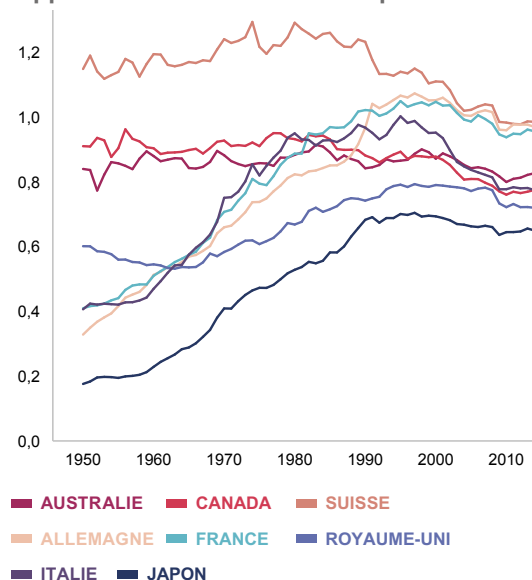


Figure 5.2 PIB réel par heure travaillée, par rapport aux États-Unis d'Amérique



Note: le coefficient de Gini mesure la répartition des revenus sur une échelle de 0 à 1; plus la valeur est faible, plus l'égalité est grande. Le PIB par habitant représenté dans la figure 5.2 est donné par rapport aux valeurs constantes du PIB réel des États-Unis d'Amérique de 2011, exprimé en dollars É.-U.; 1,0 signifie l'égalité parfaite avec les États-Unis d'Amérique. Les valeurs supérieures à 1,0 signifient que le PIB du pays par heure travaillée est supérieur à celui des États-Unis d'Amérique. Le groupe des pays à revenu élevé se compose des pays suivants: Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Canada, Danemark, Espagne, États-Unis d'Amérique, Finlande, France, Irlande, Israël, Italie, Japon, Nouvelle-Zélande, Norvège, Pays-Bas, République de Corée, Royaume-Uni, Suède, Suisse.
Source: Penn World Table, version 9.0, disponible à l'adresse suivante: www.ggd.net/pwt

En 1870, le produit intérieur brut (PIB) par habitant du pays le plus riche était égal à environ 10 fois celui du pays le plus pauvre. Depuis, cet écart s'est creusé, atteignant 126 fois en 2008¹⁴. Pendant très longtemps, les pays les plus pauvres n'ont pas connu une croissance aussi rapide que les pays les plus riches. Des données plus récentes, à partir des années 1990, révèlent une inversion de cette tendance, avec une convergence des revenus entre les pays. Autrement dit, depuis les années 1990, les pays les plus pauvres connaissent, en moyenne, une croissance plus rapide que les pays les plus riches¹⁵.

Même si la tendance s'est inversée, une convergence moyenne n'est ni universelle ni automatique. Plusieurs pays parmi les plus pauvres réussissent mieux que d'autres à rattraper les plus riches. En particulier, des pays en développement d'Asie de l'Est et, plus récemment, l'Inde y sont parvenus. Vu le rôle central qu'ils jouent dans le processus de croissance, les flux de savoir et l'innovation doivent expliquer en partie ces tendances. Quant aux structures et politiques économiques qui ont favorisé cette croissance de rattrapage, elles demeurent largement discutables¹⁶. Une vision pessimiste consiste à dire que c'est la concentration traditionnelle d'activités d'innovation dans un nombre limité de pays et les forces d'agglomération associées à ces activités qui ont accentué la division entre le cœur et la périphérie de ces concentrations au niveau mondial. C'est précisément cette division qui encourage les écarts dans les modes de développement, même si les politiques ne restreignent pas les flux de savoir. Une vision plus optimiste est que l'innovation finit par s'étendre au-delà du noyau d'innovateurs et que s'ils appliquent les bonnes politiques, les pays situés à la périphérie peuvent intégrer du savoir étranger et donc rattraper leur retard.

Pour conclure, il est à noter que la littérature économique avance de bons arguments expliquant pourquoi l'ouverture est forcément un avantage pour l'innovation. En théorie, on peut tout à fait envisager des circonstances où une restriction stratégique des échanges commerciaux et des flux de savoir peut modifier l'évolution de la croissance des pays. Il est toutefois difficile de traduire cette éventualité théorique en propositions concrètes. Comme indiqué dans l'encadré 5.1, adopter les bons instruments politiques dans une perspective d'avenir est un défi colossal. En pratique, il peut être difficile d'empêcher le savoir de se déplacer à l'étranger sans restreindre en même temps sa circulation à l'intérieur des pays. En outre, les choix politiques

d'un pays peuvent déclencher des réactions de la part d'autres pays. Cette réciprocité peut fragiliser les efforts déployés en faveur d'une restriction stratégique de l'ouverture. Pour terminer, la croissance enregistrée dans les pays à revenu élevé depuis quelques décennies laisse à penser que les nouvelles technologies ont globalement un impact à somme positive.

5.2 L'ouverture à l'ère de la baisse de productivité de l'activité de recherche-développement

L'ouverture se justifie encore davantage si l'on regarde le contexte dans lequel l'innovation se déroule aujourd'hui. Il est devenu de plus en plus difficile de pousser toujours plus loin les limites de la technologie. Les preuves sont là : pour progresser technologiquement au même rythme que par le passé, il faut aujourd'hui plus d'efforts en recherche-développement. Citons un exemple célèbre : Gordon Moore, cofondateur d'Intel, avait prédit en 1975 que le nombre de transistors présents sur la puce d'un ordinateur doublerait tous les deux ans. Ce principe, devenu la loi de Moore, a globalement tenu jusqu'à aujourd'hui. Seulement aujourd'hui, pour doubler la densité des puces, il faut 18 fois plus de chercheurs qu'au début des années 1970¹⁷.

Dans d'autres secteurs technologiques, la productivité de la recherche-développement donne des signes de ralentissement : dans le domaine médical, pour obtenir le même allongement de l'espérance de vie que par le passé, il faut l'équivalent de plusieurs fois l'activité de recherche-développement d'avant ; dans l'agriculture, les investissements en recherche-développement ont augmenté plus rapidement que les rendements des cultures¹⁸. De manière plus générale, la plupart des pays à revenu élevé connaissent un déclin progressif de la croissance de leur productivité économique depuis cinquante ans. L'économiste Robert Gordon attribue, de manière bien visible, ce déclin à une forte impulsion de la productivité des innovations du passé récent, au détriment des innovations d'un passé plus lointain¹⁹. Il avance notamment que les innovations liées à la seconde révolution industrielle ont connu une croissance rapide de leur productivité dans les pays à revenu élevé jusque dans les années 1970 ; en revanche, les innovations liées à la troisième révolution industrielle (numérique) n'ont pas pu suivre ce rythme. Les politiques ne peuvent pas changer les perspectives du progrès technologique. En revanche, elles déterminent dans quelle mesure ces perspectives

se réalisent. Elles définissent également le montant des ressources investies en recherche-développement, la manière dont la recherche-développement est réalisée et comment les innovations font leur chemin dans l'économie. À la baisse de la productivité de la recherche-développement, il convient de répondre par une hausse constante des investissements en matière d'innovation, à la fois de recherche scientifique et de recherche-développement appliquée. Cette situation appelle à la collaboration et à l'ouverture. Pour trouver des solutions à des problèmes technologiques de plus en plus complexes, il faut des équipes de chercheurs plus nombreuses (voir chapitre 2) et plus pointues. L'ouverture et la collaboration internationale favorisent une telle spécialisation et peuvent donc contribuer à ralentir la baisse de productivité de la recherche-développement.

Pour que l'ouverture ait un effet, les personnes chargées d'élaborer les politiques doivent aller plus loin que la simple suppression des obstacles aux frontières. La coopération internationale a un rôle important à jouer en faveur de l'ouverture. Il est important également de corriger les déséquilibres régionaux que l'ouverture pourrait générer en partie. Ces deux derniers aspects cruciaux sont traités dans la dernière partie de ce chapitre.

Encourager la coopération internationale

La coopération internationale en matière d'innovation comporte de nombreuses dimensions. Parmi les plus importantes, il en est une qui consiste à promouvoir des mesures d'incitation pour des investissements en faveur de l'innovation, répondant aux besoins de l'économie mondiale et correspondant à son envergure. L'élaboration de règles internationales sur la protection des droits de propriété intellectuelle va dans ce sens. Dans la pratique, les traités internationaux sur la propriété intellectuelle suivent le principe de non-discrimination, selon lequel les législations nationales doivent traiter sur un pied d'égalité les titulaires nationaux et les titulaires étrangers de droits de propriété intellectuelle. Ces traités fixent aussi certaines normes pour la protection de différents types de propriété intellectuelle. Ils déterminent, par exemple, les inventions pouvant prétendre à une protection par brevet ou la durée du droit d'auteur. En même temps, ces normes n'harmonisent pas complètement la protection de la propriété intellectuelle dans le monde et laissent la possibilité aux politiques nationales d'adapter cette protection aux besoins nationaux.

Une seconde dimension parmi les plus importantes consiste à promouvoir des mesures facilitant la conduite d'activités commerciales au niveau international. Les entreprises qui innovent et les travailleurs du savoir sont confrontés à une variété de mesures réglementaires lorsqu'ils interviennent sur les marchés internationaux. En œuvrant pour la compatibilité des systèmes réglementaires nationaux, on pourra réduire les coûts de mise en conformité. Par exemple, si les normes réglementaires étrangères sont reconnues à un certain niveau, il sera inutile de tester à nouveau les produits et de remplir les formalités et documents correspondants, sans toutefois compromettre les objectifs de la réglementation. La reconnaissance de qualifications étrangères répondant aux normes nationales peut faciliter la mobilité internationale des travailleurs du savoir, et des systèmes de reconnaissance s'établiront grâce à des dialogues réguliers entre organismes nationaux de réglementation. De même, si des normes techniques sont en place au niveau international, les produits pourront s'adapter à différents marchés à moindres coûts. Dans le domaine de la propriété intellectuelle, les traités internationaux de l'OMPI sur le dépôt (en particulier le Traité de coopération en matière de brevets, le système de Madrid et le système de La Haye) facilitent l'acquisition de droits de propriété intellectuelle dans de nombreux pays grâce au dépôt d'une seule et unique demande internationale; la délivrance des droits de propriété intellectuelle, intervenant par la suite, fait toujours l'objet d'une décision nationale.

Enfin, les États peuvent mettre en commun des ressources pour financer des projets scientifiques de grande envergure, dépassant les limites des budgets nationaux ou nécessitant des connaissances techniques disponibles dans différents pays. Le CERN, mentionné au début de ce chapitre, est un bon exemple de ce type de coopération. La Station spatiale internationale en est un autre. Il s'agit d'un projet conjoint entre les agences spatiales nationales du Canada, des États-Unis d'Amérique, de la Fédération de Russie et du Japon, et l'Agence spatiale européenne. Lancée en 1998, la Station spatiale internationale a accueilli à ce jour plus de 200 visiteurs de 18 pays différents²⁰.

Résoudre les déséquilibres régionaux

Comme exposé au chapitre 1, ces dernières décennies ont révélé une tendance préoccupante, à savoir une polarisation interrégionale croissante des revenus, de l'activité d'innovation, des emplois hautement qualifiés

et des salaires dans les différents pays. Jusque dans les années 1980, la plupart des pays à revenu élevé ont connu une convergence constante des revenus, toutes régions confondues²¹, les régions pauvres rattrapant les riches. Depuis, cette convergence s'est ralentie, voire inversée dans certains cas. Aux États-Unis d'Amérique, le processus de convergence a connu un net ralentissement à compter des années 1990²². Les pays européens aussi ont observé un ralentissement de la convergence régionale et, depuis le début de la grande récession de 2008, l'apparition pure et simple d'une divergence. Les pays européens comptent déjà un "palmarès" de quelques régions les plus performantes, présentant des niveaux de revenus élevés et une croissance beaucoup plus rapide que bien d'autres régions, plus pauvres²³.

La polarisation des activités économiques à l'intérieur des pays s'explique par de multiples raisons. L'agriculture et les activités minières représentent une part de moins en moins importante de la production économique, ce qui favorise depuis longtemps les pôles d'attraction que sont devenues les grandes villes. Dans une économie fondée sur le savoir et dominée par les services, les entreprises sont fortement incitées à s'implanter dans les grandes régions métropolitaines. D'une certaine manière, l'ouverture renforce l'attraction exercée par les régions les plus performantes. Les pôles d'innovation les plus dynamiques, intégrés dans des réseaux mondiaux d'innovation, se situent généralement dans des zones qui sont déjà les agglomérations métropolitaines les plus riches des pays. Le succès international de ces pôles d'innovation renforce leur position de chef de file dans leur pays. Comme décrit au chapitre 1, les pôles de concentration de l'innovation peuvent aussi se différencier entre eux par leurs revenus, une croissance rapide des emplois hautement qualifiés exerçant une pression sur les revenus disponibles pour les emplois peu qualifiés. Israël est un bon exemple de pays où le plein essor des activités d'innovation fait craindre une économie à deux vitesses (voir encadré 5.2).

Résoudre les déséquilibres régionaux qui s'accroissent est l'un des défis les plus difficiles auxquels sont confrontées les personnes chargées d'élaborer les politiques. Il peut être ni possible ni souhaitable d'essayer d'inverser l'attraction qu'exercent les régions les plus performantes. Un accès restreint aux réseaux mondiaux d'innovation, par exemple, compromettrait la capacité du pays à générer des innovations de pointe. En tout cas, l'ouverture n'est qu'un élément déclencheur

de déséquilibres régionaux, parmi d'autres²⁴. La transformation structurelle à long terme de l'activité économique est sans doute à l'origine de ces déséquilibres. Les migrations internes en provenance des régions retardataires vers les régions prospères ne résolvent que partiellement le problème de la divergence régionale. D'une part, les individus n'auront pas forcément la capacité ni la volonté de déménager. D'autre part, les prix élevés du logement dans les régions prospères constituent, à eux seuls, un obstacle majeur aux migrations internes²⁵.

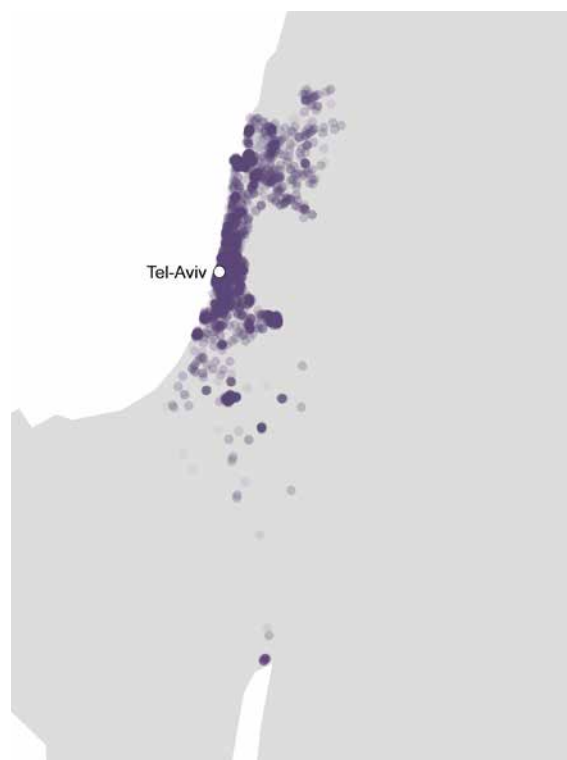
Pour venir en aide aux régions dont la prospérité demeure à la traîne, il peut être important de déterminer des orientations politiques. Les régions les plus faibles bénéficient, bien évidemment, depuis longtemps d'un soutien au développement, avec des résultats mitigés. Le présent rapport n'a pas pour objet de passer en revue chronologiquement les initiatives politiques engagées dans ce sens. Néanmoins, des travaux de recherche menés récemment soulèvent quelques aspects importants, à prendre en considération pour l'élaboration de politiques de soutien régional²⁶ :

- De manière idéale, les stratégies de développement régional devraient chercher à s'appuyer sur les capacités et les avantages existants des régions et s'attacher à les développer grâce à des investissements en termes d'infrastructure, d'enseignement et de technologie. Les capacités et avantages existants peuvent se présenter sous la forme de terre et de main-d'œuvre relativement bon marché et de capacités industrielles en place, ainsi que d'actifs fondés sur la réputation.
- Les politiques élaborées devraient déterminer quels sont les principaux obstacles à une augmentation des capacités existantes et s'appuyer sur les éléments fournis par l'ensemble des parties prenantes locales concernées.
- Les politiques de développement qui en résultent devraient être régulièrement évaluées et ces évaluations devraient être utilisées pour adapter les futures politiques.

Ces politiques n'inversent pas l'attraction exercée par les régions qui réussissent mais elles peuvent faire en sorte que la croissance générée par l'innovation profite au pays tout entier. Elles constituent, en tant que telles, le fondement indispensable à l'ouverture des systèmes nationaux d'innovation.

Concentration des inventeurs israéliens dans la région de Tel-Aviv

Figure 5.3 Carte thermique des inventeurs cités dans les demandes de brevet, 2008-2018



Source : OMPI, données extraites des bases de données PATSTAT et PCT (voir les notes techniques). Notes : les chiffres des brevets sont basés sur les familles internationales de brevets.

Encadré 5.2 Israël et son système d'innovation florissant: nation start-up ou région start-up?

Israël est un pays où l'innovation est florissante. Aucun autre pays ne consacre une somme plus importante à la recherche-développement en proportion de son PIB et n'attire plus d'investissements en capital-risque. La plupart des grandes entreprises technologiques mondiales ont créé des centres de recherche-développement en Israël afin de s'appuyer sur les compétences et sur l'expérience de la communauté scientifique dynamique de ce pays. Ce sont des entreprises israéliennes qui impriment la tendance dans de nombreux domaines, notamment dans la cybersécurité. Son tissu économique vivant grâce aux jeunes entreprises qui le composent a valu à Israël le surnom de "nation start-up".

L'économie israélienne de l'innovation, de par son dynamisme, a été l'un des principaux éléments moteurs de la croissance économique globale du pays. Entre 2008 et 2018, l'économie israélienne a enregistré un taux de croissance annuel moyen de 3,5%, dépassant largement la plupart des pays développés²⁷. Le chômage a chuté à un taux record de 4% en 2018²⁸.

Le surnom de "nation start-up" masque toutefois la concentration géographique de l'innovation en Israël. La région métropolitaine de Tel-Aviv arrive nettement en tête, concentrant 77% des start-ups et 60% des emplois dans les secteurs de haute technologie²⁹. Plus de la moitié des inventeurs israéliens dont les noms figurent dans les demandes de brevet résident également dans cette région (voir figure 5.3).

Dans les régions périphériques, les salaires sont inférieurs de 35% à ce qu'ils sont dans la région centrale du pays. La prédominance de Tel-Aviv s'est encore intensifiée ces dernières années. Plus des deux tiers de la hausse de l'emploi dans les secteurs de haute technologie entre 2015 et 2017 ont été enregistrés dans cette région³⁰. Tel-Aviv est également étroitement reliée aux principaux pôles d'innovation du monde entier, avec par exemple des vols directs vers San Francisco.

Comme les autres pôles d'innovation généraux, Tel-Aviv voit surgir des inquiétudes quant à une hausse des prix du logement et des écarts de revenus de plus en plus importants³¹, dus à l'expansion des entreprises technologiques.

Le Gouvernement israélien reconnaît que l'attraction de la région de Tel-Aviv génère certains avantages pour la région et des forces d'agglomération naturelles. Il est conscient aussi que ce déséquilibre régional pose certains défis sur le plan économique et social. L'Autorité israélienne de l'innovation a donc adopté une stratégie pour une économie axée sur l'innovation à la périphérie.

Cette stratégie repose sur quatre piliers essentiels³²:

- mettre en relation le capital humain disponible à la périphérie et les grandes entreprises de haute technologie;
- promouvoir l'innovation technologique à la périphérie dans les secteurs de la production industrielle et de l'agroalimentaire;
- encourager la création d'entreprises en faisant appel aux établissements universitaires locaux et à d'autres sources de savoir et compétences industrielles du pays; et
- renforcer l'écosystème de haute technologie de régions disposant des fondements essentiels à un tel écosystème, notamment des régions de Haïfa, Jérusalem et Beersheba.

Ces piliers visent à la fois à atténuer la pénurie croissante de main-d'œuvre qualifiée dans l'économie de l'innovation et à promouvoir le développement de régions actuellement en retard, afin de générer une croissance plus équilibrée au niveau national.

Notes

- 1 Voir OMPI (2015).
- 2 Voir l'étude de cas sur la biotechnologie agricole au chapitre 4.
- 3 Voir home.cern. Israël est le seul membre non européen du CERN.
- 4 Voir Krugman *et al.* (2018). Les écarts de productivité entre les pays constituent une troisième force motrice de la spécialisation.
- 5 Les différences dans les dotations en facteurs peuvent également expliquer les tendances de migration internationale. Ainsi, les travailleurs hautement qualifiés – par exemple les ingénieurs en informatique de l'Inde – ont tendance à se déplacer vers des économies à revenu élevé où ils reçoivent des salaires plus élevés (voir Krugman *et al.*, 2018). Certes, les bas salaires du personnel de R-D ne sont qu'une des raisons pour lesquelles les multinationales délocalisent leurs activités de R-D dans les économies en développement; le potentiel de croissance des marchés locaux est souvent un autre facteur important (voir Thursby et Thursby, 2006).
- 6 L'économiste Kenneth Arrow, lauréat d'un prix Nobel d'économie, a été le premier à observer le caractère de bien public du savoir (Arrow, 1962). Outre le fait qu'ils ne sont pas des rivaux en termes de consommation, les producteurs de connaissances ne peuvent – sans protection de la propriété intellectuelle – exclure d'autres personnes de l'utilisation des connaissances communiquées au public. Voir OMPI (2011) pour plus de précisions.
- 7 Voir OMPI (2019).
- 8 Voir Crescenzi *et al.* (2019).
- 9 Voir Cohen et Levinthal (1989) pour une contribution ancienne sur l'importance de la capacité d'absorption.
- 10 Voir von Hippel (1994).
- 11 Ces arguments sont apparus pour la première fois dans les années 1980, lorsque la croissance rapide des économies de l'Asie de l'Est a été perçue comme une menace à la domination technologique des économies occidentales (voir p. ex. Tyson, 1984).
- 12 Voir Brander et Spencer (1985) pour une contribution fondamentale.
- 13 Pritchett (1997) a qualifié cette tendance historique à long terme de "divergence, big time".
- 14 Voir OMPI (2015).
- 15 Voir Patel *et al.* (2018).
- 16 Voir WIPO (2015).
- 17 Voir Bloom *et al.* (2019).
- 18 Voir Bloom *et al.* (2019). Les auteurs tiennent également compte de la baisse de productivité de la R-D lorsqu'ils analysent les données au niveau des entreprises dans l'ensemble de l'économie américaine. En outre, ils examinent et rejettent la possibilité que l'émergence de nouvelles technologies compense la baisse de productivité de la R-D dans les technologies existantes.
- 19 Voir Gordon (2018).
- 20 Voir en.wikipedia.org/wiki/International_Space_Station.
- 21 Voir Crescenzi *et al.* (2019).
- 22 Voir Ganong et Shoag (2017).
- 23 Voir Alcidi *et al.* (2018).
- 24 En passant en revue deux décennies de recherche, Helpman (2018) conclut que la mondialisation n'est responsable que d'une faible augmentation des inégalités au sein des nations.
- 25 Voir Ganong et Shoag (2017).
- 26 Voir Foray (2015) et Rodríguez-Pose (2018).
- 27 Sur la base du PIB en dollars constants des États-Unis de 2010, selon la Banque mondiale.
- 28 Selon le profil national pour Israël de l'Organisation internationale du Travail.
- 29 Voir Israel Innovation Authority (2019).
- 30 Voir Israel Innovation Authority (2019).
- 31 Voir Srivastava (2018).
- 32 Voir Israel Innovation Authority (2019).

Références

- Alcidi, C., J.N. Ferrer, M. Di Salvo, R. Musmeci et M. Pilati (2018). Income Convergence in the EU: A Tale of Two Speeds. *Commentary*, January 9. Bruxelles: Centre for European Policy Studies.
- Arrow, K. (1962). Economic welfare and the allocation of resources for invention. In Nelson, R.R. (éd.), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 609-626.
- Bloom, N., C.I. Jones, J. Van Reenen et M. Webb (2019). Are Ideas Getting Harder to Find? *NBER Working Paper Series, No. 23782*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Brander, J.A. et B.J. Spencer (1985). Export subsidies and international market share rivalry. *Journal of International Economics*, 18(2), 83-100.
- Cohen, W.M. et D.A. Levinthal (1989). Innovation and learning: two faces of R&D. *Economic Journal*, 99, 569-596.
- Crescenzi, R., S. Iammarino, C. Ioramashvili, A. Rodríguez-Pose et M. Storper (2019). Répartition géographique de l'innovation: pôles de concentration locaux et réseaux mondiaux. *Document de recherche économique de l'OMPI n° 57*. Genève: OMPI.
- Foray, D. (2015). *Smart Specialisation: Opportunities and Challenges for Regional Innovation Policy*. Abingdon: Routledge.
- Ganong, P. et D. Shoag (2017). Why has regional income convergence in the U.S. declined? *Journal of Urban Economics*, 102, 76-90.
- Gordon, R.J. (2018). Declining American economic growth despite ongoing innovation. *Explorations in Economic History*, 69, 1-12.
- Grossman, G.M. et E. Helpman (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Helpman, E. (2018). *Globalization and Inequality*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Israel Innovation Authority (2019). *State of Innovation in Israel 2018*. www.innovationisrael.org.il
- Krugman, P.R., M. Obstfeld et M. Melitz (2018). *International Economics: Theory and Policy* (11^e édition). Boston, MA: Pearson Education.
- Patel, D., J. Sandefur et A. Subramanian (2018). Everything you know about cross-country convergence is (now) wrong. *Realtime Economic Issues Watch*, 15 octobre. Peterson Institute for International Economics. www.piie.com/blogs/realtime-economic-issues-watch/everything-you-know-about-cross-country-convergence-now-wrong
- Pritchett, L. (1997). Divergence, big time. *Journal of Economic Perspectives*, 11(3), 3-17.
- Rodríguez-Pose, A. (2018). The revenge of the places that don't matter. VOX, 6 février. voxeu.org/article/revenge-places-dont-matter
- Srivastava, M. (2018). Israel's tech expansion stokes glaring inequality in Tel Aviv. *Financial Times*, 10 décembre.
- Thursby, J. et M. Thursby (2006). *Here or There? A Survey of Factors in Multinational R&D Location*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- Tyson, L.D. (1984). *Who's Bashing Whom: Trade Conflict in High-technology Industries*. Washington, D.C.: Institute for International Economics.
- von Hippel, E. (1994). 'Sticky information' and the locus of problem solving: implications for innovation. *Management Science*, 40, 429-439.
- OMPI (2011). *Rapport sur la propriété intellectuelle dans le monde 2011 – Le nouveau visage de l'innovation*. Genève: OMPI.
- OMPI (2015). *Rapport 2015 sur la propriété intellectuelle dans le monde. Innovations majeures et croissance économique*. Genève: OMPI.
- OMPI (2019). *Tendances technologiques 2019 – Intelligence artificielle*. Genève: OMPI.

Notes techniques

Groupes de revenus

Le présent rapport utilise la classification des revenus de la Banque mondiale pour se référer à des groupes de pays particuliers. Le classement est basé sur le revenu national brut par habitant en 2018, et établit les quatre groupes suivants : économies à faibles revenus (1025 dollars É.-U. et moins), économies à revenus moyens (1026 dollars É.-U. à 3995 dollars É.-U.), économies à revenus moyens à élevés (3996 à 12 375 dollars É.-U.) et économies à revenus élevés (12 376 dollars É.-U. et plus).

Pour plus d'informations sur ce classement, voir data.worldbank.org/about/country-classifications.

Groupes de pays et régions

Les régions des pays mentionnés dans ce rapport correspondent étroitement aux régions géographiques de la publication Codes standard des pays et des zones à usage statistique de 1999 (Révision 4), dite "M49", de la Division des statistiques (UNDS) du Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies (ONU). On peut prendre connaissance de la méthodologie complète à l'adresse unstats.un.org.

Certaines modifications ont été apportées à cette méthodologie afin de simplifier l'analyse. Ainsi, la région *Europe de l'Ouest* comprend les pays suivants : Allemagne, Andorre, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Liechtenstein, Luxembourg, Malte, Monaco, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Saint-Marin, Suède et Suisse. L'*Europe centrale et orientale* regroupe tous les pays des régions *Europe du Nord* et *Europe Sud* du document M49 qui ne font pas partie de l'*Europe de l'Ouest*. Les sous-régions géographiques *Asie du Sud*, *Asie centrale* et *Asie du Sud-est* sont regroupées en une seule catégorie qui comprend également la Mongolie.

Données de publications scientifiques

Les données de publications scientifiques ayant servi à l'établissement du présent rapport sont tirées de 27 726 805 citations de 1998 à 2017 publiées dans le Science Citation Index Expanded (SCIE), la base de données exploitée par la société Clarivate Analytics et disponible sur le Web of Science (WOS). L'analyse s'est concentrée sur 23 789 354 références renvoyant exclusivement à des articles scientifiques, des actes de conférences, des résumés scientifiques et des articles

publiés aux fins de partage de données (*data papers*). Les ensembles de données retenus proviennent, pour l'essentiel, d'articles scientifiques.

Données de brevets

Les données de brevets ayant servi à l'établissement du présent rapport sont tirées de la base de données mondiale sur les statistiques en matière de brevets (PATSTAT, avril 2019) de l'Office européen des brevets (OEB) et des collections du Traité de coopération en matière de brevets (PCT) de l'OMPI. Ces sources ont permis de dénombrer au cours de la période analysée (1970 à 2017) 49 286 675 premiers dépôts de brevet et 26 626 660 demandes ultérieures, soit un total de 75 913 335 demandes de brevet déposées auprès de 168 offices de brevets.

L'unité d'analyse principale est le premier dépôt d'un ensemble de demandes de brevet déposées dans un ou plusieurs pays pour une même invention. Chaque ensemble contenant un premier dépôt et, éventuellement, plusieurs dépôts ultérieurs, est défini comme une famille de brevets. L'analyse fait en outre une distinction entre les familles de brevets à orientation étrangère, également appelées familles internationales de brevets, et les familles de brevets exclusivement nationales. Les familles de brevets à orientation étrangère concernent des inventions pour lesquelles le déposant a demandé une protection s'étendant au-delà du territoire couvert par son office national. Cette définition s'applique également aux demandes de brevet déposées seulement à l'étranger, seulement selon le système du PCT ou seulement auprès de l'OEB. Inversement, les familles de brevets exclusivement nationales concernent des demandes de brevet déposées seulement auprès de l'office national du déposant – quel que soit le nombre de dépôts de la même famille auprès de cet office – et sans qu'aucun dépôt étranger ne soit effectué ultérieurement en vertu de la Convention de Paris ou selon le PCT. De la même façon, les demandes de brevet présentées par des déposants de plusieurs origines constituent par définition des familles de brevets à orientation étrangère. En outre, environ 30% des familles de brevets protègent uniquement des modèles d'utilité, qui sont pour la plupart exclusivement nationaux.

Sauf indication contraire, le rapport n'utilise que les familles de brevets à orientation étrangère comme unité d'analyse pour toutes les statistiques de brevet

qu'il présente. Cela tient principalement au fait que la prise en compte des brevets et modèles d'utilité exclusivement nationaux de nombreuses collections nationales est incomplète dans PATSTAT. Si les données des principaux offices nationaux et internationaux (Office des brevets et des marques des États-Unis d'Amérique (USPTO), Office des brevets du Japon (JPO), Office coréen de la propriété intellectuelle (KIPO), Administration nationale de la propriété intellectuelle de la Chine (CNIPA), Office européen des brevets (OEB) et l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI)) sont généralement présentes dans PATSTAT, ce n'est pas toujours le cas de celles de certains autres offices. L'accès aux données relatives aux collections nationales de certains des 20 principaux offices de brevets – ceux de l'Inde, de l'Indonésie, de la République islamique d'Iran, du Mexique et de la Turquie – est, par exemple, limité dans PATSTAT. C'est la raison pour laquelle le présent rapport est fondé sur les informations de 8 955 990 familles de brevets à orientation étrangère, contenant 35 582 650 demandes de brevet.

Géocodage

Le géocodage – l'attribution d'une latitude et d'une longitude à un emplacement donné – des données de publications scientifiques et de brevets a été effectué sur la base de toutes les informations disponibles sur les adresses et les exercices précédents de géocodage de ces données.

Pour ce qui est des publications scientifiques, le rapport fait l'hypothèse que les recherches rapportées dans une publication ont été menées dans les institutions et organismes auxquels les auteurs ont déclaré être affiliés. Le géocodage des adresses d'affiliation disponibles a donc été effectué au niveau du code postal ou inframunicipal dans 97% des cas. Pour les auteurs faisant état de plusieurs affiliations dans une même publication, toutes les adresses ont été prises en compte.

En ce qui concerne les brevets, 87% des familles internationales de brevets déposés de 1976 à 2015 ont été géocodées. Les autres ne l'ont pas été, dans la plupart des cas, parce qu'aucune information d'adresse utilisable n'était disponible. Dans la mesure du possible, le géocodage a été appliqué aux adresses des inventeurs en utilisant la source de données la plus complète et la plus fiable dont on disposait au sein de chaque famille de brevets. De plus, les données ont été

enrichies de données de brevets géocodées existantes (voir Yin et Motohashi, 2018; Ikeuchi *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2014; de Rassenfosse *et al.*, 2019; Morrison *et al.*, 2017). L'ensemble de ces sources et le géocodage de l'OMPI ont été analysés et consolidés pour obtenir les meilleures données géocodées possible pour chaque famille de brevets. Lorsque l'on disposait de plusieurs sources pour une famille donnée de brevets, celles-ci ont été utilisées dans l'ordre suivant: 1) sources comportant des informations sur l'inventeur (principe de l'inventeur), 2) sources couvrant un plus grand nombre d'adresses d'inventeurs (principe de couverture), 3) sources permettant la meilleure résolution de géocodage (principe de résolution), 4) sources les plus proches du pays de l'adresse – par exemple, attribuer les adresses chinoises aux données du CNIPA, celles du Japon aux données du JPO, etc. (principe local) et 5) sources nécessitant une vérification manuelle et une sélection spécifique lorsque deux sources ou plus étaient encore disponibles. Ce processus a permis de géocoder de nombreuses adresses d'inventeurs à un niveau précis – celui de la rue ou du pâté de maisons. Toutefois, d'autres n'ont pu être géocodées qu'au niveau du code postal ou à un autre niveau inframunicipal. Les familles de brevets faisant état d'un plus grand nombre d'offices avaient plus de chances de se voir attribuer un géocode, ce dernier étant, par surcroît, de meilleure qualité. C'est là une autre des raisons pour lesquelles le rapport ne s'appuie que sur des familles de brevets à orientation étrangère. Pour plus de renseignements, voir Miguelez *et al.* (2019).

Mesurer l'agglomération de l'innovation

Afin de traiter le problème d'agrégation spatiale et les distorsions statistiques qui en résultent, les auteurs de ce rapport ont créé deux ensembles spécifiques de zones comparables à utiliser à la place des zones administratives (voir Ester *et al.*, 1996). Un premier ensemble de "pôles d'innovation généraux" englobe les zones géographiques présentant la plus forte densité d'innovation dans le monde en termes d'articles scientifiques ou de familles de brevets par kilomètre carré (km²). Ces zones sont, par définition, comparables à l'échelle internationale et distinctes géographiquement. La même publication scientifique ou la même densité de brevets détermine le même pôle de concentration partout dans le monde, bien que le seuil soit différent pour les données de publications scientifiques et les données de brevets. Aucune adresse de brevet ou de publication scientifique ne peut se trouver en même temps dans deux pôles de concentration.

Un second ensemble nommé “groupes de niche spécialisés” a été créé pour éviter que les biais imputables à certains champs de données scientifiques soient surreprésentés dans les publications scientifiques, et que ceux imputables à certains champs de données technologiques soient surreprésentés dans les données de brevets. Les groupes de niche spécialisés englobent des zones à forte densité d’innovation dans un ou plusieurs domaines spécifiques de publications scientifiques ou de brevets, qui ne remplissent pas autrement les critères pour être des pôles d’innovation généraux. Les groupes qui en résultent sont également des zones géographiques distinctes, étant donné que ceux qui se chevauchent pour différents domaines sont consolidés en un seul. Ils ne sont toutefois comparables au niveau international que dans leurs domaines scientifiques ou technologiques spécifiques.

Le rapport a ainsi recensé 174 pôles d’innovation généraux et 313 groupes de niche spécialisés dans le monde. La méthode détaillée utilisée à cet effet est décrite ci-après.

Premièrement, les points des pôles d’innovation généraux ont été identifiés en appliquant séparément aux données géocodées des brevets et des publications scientifiques la méthode DBSCAN (regroupement spatial basé sur la densité des applications avec bruit). Cette méthode de partitionnement utilise deux paramètres pour établir la densité minimale acceptable pour former une zone candidate : rayon et nombre minimum de points. Ces deux paramètres ont été définis différemment pour les brevets et les publications scientifiques. Pour les données de publications scientifiques, le rayon a été fixé à 23 km, soit la distance moyenne à parcourir pour se rendre au travail dans les pays de l’OCDE. En ce qui concerne les données de brevets, compte tenu de la plus grande précision du géocodage et des résultats d’une vérification visuelle, le rayon a été fixé à une valeur plus faible, soit 13 km. Le paramètre du nombre minimum de points a été fixé à la densité médiane des brevets et des publications scientifiques de toutes les circonférences possibles compte tenu du rayon de chaque ensemble de données. En conséquence, la densité minimale de brevets des pôles d’innovation généraux a été fixée à 1453 brevets pour 10 km² et la densité minimale de publications scientifiques, à 3328 publications scientifiques pour 10 km².

Deuxièmement, les groupes de points obtenus par la méthode DBSCAN ont été utilisés pour déterminer

les zones géographiques candidates – c’est-à-dire les limites – des pôles d’innovation généraux. Les frontières de chaque agglomération de publications scientifiques et de brevets ont été déterminées en utilisant pour chacune l’approche des coques concaves avec l’algorithme des K plus proches voisins (voir Moreira et Santos, 2007). Afin d’éviter des formes de polygones anormales, l’algorithme concave a été paramétré de manière à ce que la zone convexe soit couverte au moins à 75% par tous les points extérieurs d’un groupe donné. Dans les quelques cas où le groupe avait moins de trois coordonnées, la circonférence du polygone a été fixée selon un rayon de 13 km. Les polygones qui se chevauchent ont été fusionnés, en ne conservant que les frontières extérieures de toutes les agglomérations concernées. Dans les cas où ce chevauchement était inférieur à 5% de l’un ou l’autre des polygones, ceux-ci ont cependant été inspectés et corrigés manuellement. Tous les brevets et articles scientifiques compris dans les polygones résultants ont été pris en compte dans l’analyse, qu’ils fassent partie ou non des résultats obtenus par l’algorithme DBSCAN.

Troisièmement, la méthode ci-dessus a été appliquée à nouveau sur 25 sous-échantillons des mêmes données de publications et de brevets, faisant référence respectivement à 12 domaines scientifiques et à 13 domaines technologiques. Les paramètres de rayon ont été à nouveau fixés à 13 km pour les brevets et 25 km pour les publications scientifiques. Le nombre minimum de points a été fixé à la densité médiane des brevets de chacun des 13 domaines technologiques et à la densité médiane des publications scientifiques de chacun des 12 domaines scientifiques de toutes les circonférences possibles compte tenu du rayon de chaque ensemble de données. À partir des groupes résultants de chacune de ces 25 itérations, seuls les points non contenus dans un pôle d’innovation général ont été conservés pour calculer les zones des polygones concaves. À partir des polygones résultants, ceux qui se chevauchent ont été fusionnés de la manière mentionnée ci-dessus.

Stratégies de cartographie

La stratégie de cartographie des brevets utilisée pour chacun des deux secteurs – véhicules autonomes au chapitre 3 et biotechnologies végétales au chapitre 4 – est fondée sur des études antérieures et des suggestions d’experts. Chaque stratégie s’est appuyée, dans la mesure du possible, sur des publications scientifiques existantes et des exercices de cartographie de brevets

équivalents. Pour plus de détails, voir Graff et Hamdan-Livramento (2019) et Zehtabchi (2019).

Véhicules autonomes

La cartographie des véhicules autonomes est fondée sur une combinaison de données de brevets tirées de PATSTAT et d'articles scientifiques cités dans l'index SCIE du Web of Science, échantillonnées sur la base de classifications de brevets, de sujets scientifiques et de mots clés. Les détails suivent.

Les symboles de classement de la CIB et de la CPC ci-dessous ont été utilisés pour rechercher les brevets relatifs aux véhicules autonomes; ils l'avaient également été antérieurement aux fins d'établissement de cartographies de brevets par l'UKIPO, l'OEB et le JPO. Certains symboles CPC et CIB ont seulement été utilisés conjointement avec des mots clés.

Symboles autonomes : G05D 1/0088; G05D2201/0207 ; G05D2201/0212; G08G 1/22; B60L2260/40%; B60L2230%; B60K31/0008; B60K31/0008; B60K2031/0091; B60K31/0058; B60K31/0066; B60W2550/40; B60W2600% ; G01S15/88 ; G06K9/00791; G06T2207/30252; G08G1/096791; G08G1/16; G08G1/22; H04L67/12; Y02P90/285.

Symboles utilisés conjointement avec des mots clés : B60L%; B60W%; B60W2030/%; B60W2040/%; B60W2050/%; B60W30/%; B60W40/%; B60W50/%; B60Y%; B60Y2200/11; B62D%; G01S13/93; G01S13/931 ; G01S15/93; G01S15/931/%; G01S17/88; G01S17/93; G01S17/936; G01S7/022; G01S7/4806; G05D1/02; G05D1/021/%; G08G1/16%; Y02T10/%; Y02T90/%.

Mots clés: (ground | car | cars | lorri | lorry | road | street | highway | convoy | platoon | fleet), (autonomous | unmanned | driver[.]{0,}less | agv), and NOT (air | aer | drone | flight | flies | fly).

En ce qui concerne les données de publications scientifiques, un processus itératif a été appliqué. Tout d'abord, une stratégie fondée sur des mots clés a été appliquée sur les résumés des données de l'index SCIE du Web of Science, en combinant les deux listes de termes suivantes: 1) *automated, autonomous, self-driving, driverless, unmanned, robotic, pilotless* et *unpiloted* et 2) *vehicle, car, truck, taxi, shuttle, lorry, driving, transport(ation)* et *automobile*.

Deuxièmement, les mots clés déclarés par les auteurs des articles scientifiques résultants ont été examinés

manuellement pour créer une nouvelle liste des 40 termes suivants: *adaptive cruise control; advanced driver assistance system; automated driving system; automated lane change maneuver; automatic vehicle control; automatic vehicle following; automotive radar; automotive sensors; autonomous mobile robots; autonomous navigation; autonomous valet parking; autonomous vehicular networks; autonomous-vehicle lane; collision avoidance; crash avoidance; DARPA; DARPA urban challenge; Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) urban challenge; drivable-region detection; intelligent cruise control vehicles; intelligent unmanned autonomous system; LADAR; laser imaging detection and ranging; LIDAR; LIDAR object detection; light detection and ranging (LIDAR); look-ahead sensing; moving vehicle detection; obstacle avoidance; obstacle detection; pedestrian detection; pedestrian-crossing detection; platoon; predictive cruise control; unmanned ground vehicle; unmanned surface vehicles; vehicle automation; vehicle detection; vision-based guidance; wheeled robotic vehicle.*

Troisièmement, ces 40 termes ont été utilisés dans les résumés et titres d'articles pour extraire un nouvel ensemble. Afin d'éviter les faux positifs, les articles de revues étiquetés dans les sujets suivants du WoS ont été exclus: *Anatomy/Morphology; Art; Astronomy/Astrophysics; Audiology/Speech-Language Pathology; Behavioral Sciences; Biochemistry/Molecular Biology; Biodiversity/Conservation; Biophysics; Biotechnology/Applied Microbiology; Cardiovascular System/Cardiology; Cell Biology; Chemistry; Crystallography; Developmental Biology; Education/Educational Research; Emergency Medicine; Endocrinology/Metabolism; Entomology; Environmental Sciences/Ecology; Evolutionary Biology; Fisheries; Food Science/Technology; Forestry; Gastroenterology/Hepatology; General/ Internal Medicine; Geochemistry/Geophysics; Geography; Geology; Geriatrics/Gerontology; Health Care Sciences/Services; Immunology; Infectious Diseases; Information Science/Library Science; Life Sciences/Biomedicine – other topics; Linguistics; Marine/Freshwater Biology; Medical Informatics; Medical Laboratory Technology; Meteorology/Atmospheric Sciences; Microbiology; Mineralogy; Mining/Mineral Processing; Neurosciences/Neurology; Nuclear Science/Technology; Nursing; Nutrition/ Dietetics; Obstetrics/Gynecology; Oceanography; Ophthalmology; Orthopedics;*

Otorhinolaryngology; Pathology; Pediatrics; Pharmacology/Pharmacy; Physiology; Plant Sciences; Psychiatry; Psychology; Public Environmental/Occupational Health; Radiology Nuclear Medicine/Medical Imaging; Rehabilitation; Research/Experimental Medicine; Respiratory System; Rheumatology; Social Sciences – other topics; Sport Sciences; Surgery; Toxicology; Transplantation; Tropical Medicine; Urology/Nephrology; Veterinary Sciences; Water Resources; Zoology.

Biotechnologies agricoles

La cartographie des biotechnologies agricoles est fondée sur une combinaison de données de brevets tirées de PATSTAT et d'articles scientifiques cités dans l'index SCIE du Web of Science, échantillonnées sur la base des classifications de brevets, de revues scientifiques et de mots clés. Les détails suivent.

Les symboles de classement de la CIB et de la CPC ci-dessous ont été utilisés pour rechercher les brevets relatifs à chaque catégorie de biotechnologie agricole, et la fusion de ces catégories donne le total des brevets de biotechnologies agricoles :

Amélioration génétique des cultures: A01H1%; A01H3%; A01H4%; A01H5%; A01H6%; A01H7%; A01H17%; C12N5/04%; C12N5/14%; C12N15/05%; C12N15/29%; C12N15/79%; C12N15/82%; C12N15/83%; C12N15/84%; (C07K14/415% but not A61K%).

Lutte antiparasitaire dans les cultures: A01N63%; A01N65%; C12N15/31%; C12N/32%; (C07K14/325% but not A61K%).

Fertilité des sols: C05F%.

Changement climatique: Y02A40/146; Y02A40/162; Y0240/164.

Les données relatives aux publications scientifiques ont été extraites de grandes revues scientifiques de biotechnologie agricole et d'une combinaison de revues scientifiques de biotechnologie agricole et de mots clés, à savoir :

1) Tous les articles des grandes revues de biotechnologie agricole suivantes : Agri Gene; Crop Science; Euphytica; Genetics, Selection, and Evolution; Journal of Experimental Botany; Journal

of Plant Physiology; New Phytologist; Physiologia Plantarum; Plant and Cell Physiology; Plant Cell; Plant Cell and Environment; Plant Cell Reports; Plant Journal; Plant Molecular Biology; Plant Physiology; Plant Physiology and Biochemistry; Plant Science; Planta.

2 Principales revues scientifiques de biotechnologie agricole et mots clés :

Principales revues scientifiques de biotechnologie agricole : Biochemical and Biophysical Research Communications; Cell; Journal of Biological Chemistry; Journal of Biology; Journal of Cell Biology; Journal of Molecular Biology; Journal of the American Medical Association; Molecular and Cellular Biology; Nature; Nature Biotechnology; New England Journal of Medicine; PlosBio; Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA; Science; The EMBO Journal; Theoretical and Applied Genetics.

Mots clés : abscisic acid; ACC oxidase; ACC synthase; aerenchyma; agrobacterium rhizogenes; agrobacterium tumefaciens; agrobacterium; alfalfa; ammonium; anther culture; anthocyanins; apoplast; arabidopsis; arbuscular mycorrhiza*; auxin; bacterial blight; banana; barley; beta vulgaris; rachypodium distachyon; brassica; bread wheat; breeding; breeding value; C-4 photosynthesis; canola; capsicum annuum; carrot; cassava; chickpea; chinese cabbage; chlorophyll a fluorescence; chloroplast DNA; citrus; coffea arabica; cold tolerance; common bean; conifer*; cotton; cross-breeding; cucumis melo; cucumis sativus; cytokinins; cytoplasmic male sterility; daucus carota; defoliation; distillers grains; doubled; downy mildew; drought resistance; ectomycorrhizal; eucalyptus; flaxseed; forage; fructan; fruit development; fruit quality; fruit ripening; fusarium; fusarium graminearum; fusarium head blight; garlic; genome; genotype x environment interaction; genotype; germplasm; gibberellins; glycine max; gossypium hirsutum; grain; grain filling; grain yield; grapevine; hairy root; haploid; hevea brasiliensis; high; hordeum vulgare; hypersensitive response; kiwifruit; leaf anatomy; leaf growth; leaf rust; legume; linseed; lolium perenne; lycopersicon esculentum; maize; male sterility; marker; medicago truncatula; methyl jasmonate; micropropagation; mycorrhiza*; nicotiana tabacum; nitrogen fixation; orchid; oryza; oryza sativa; osmotic adjustment; osmotic potential;

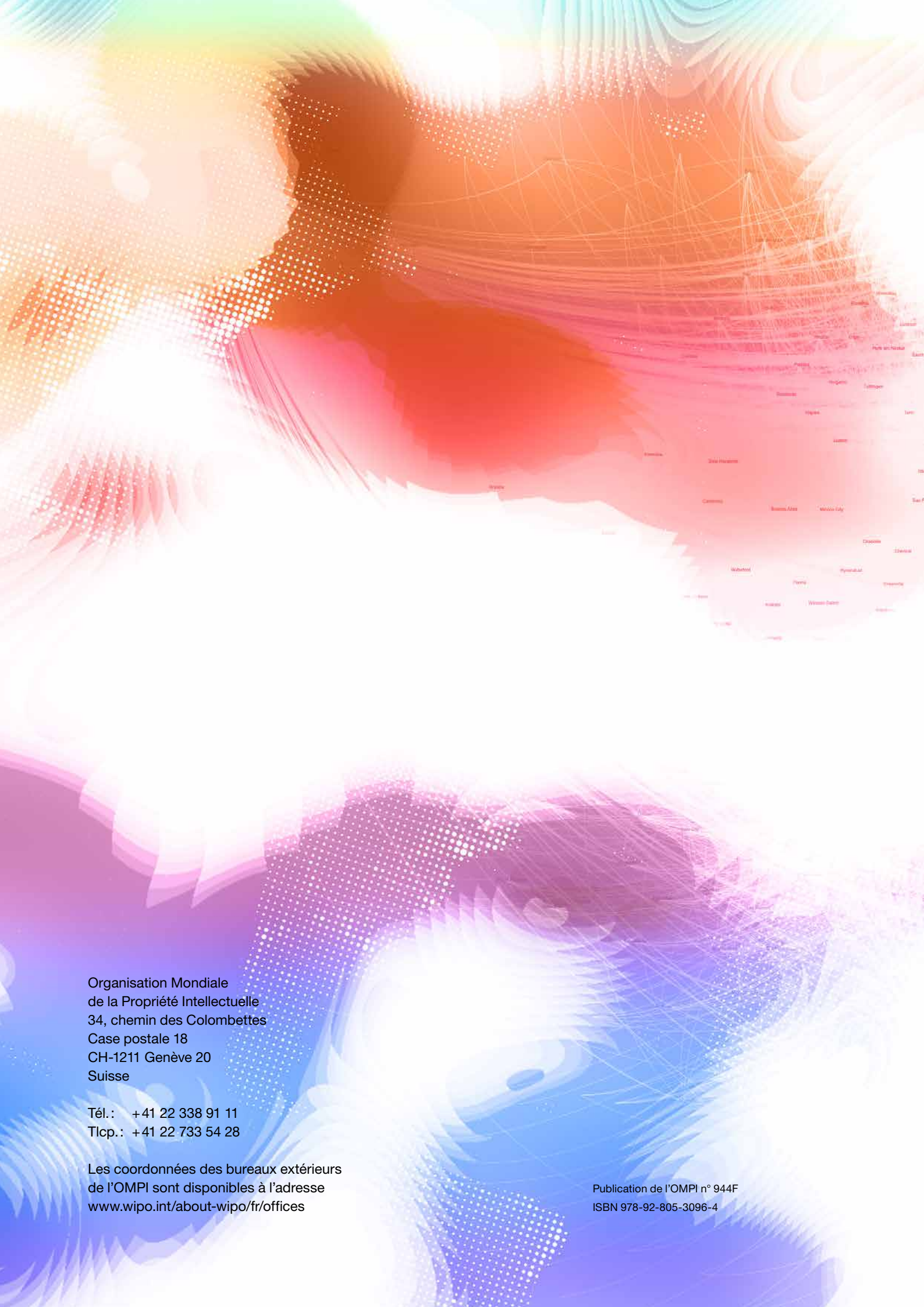
pea; peach; pectin; pepper; perennial ryegrass; phaseolus vulgaris; phenotyping; phloem transport; physcomitrella patens; phytic acid; phytotoxicity; picea abies; pinus; pinus pinaster; pinus taeda; pisum; plant breeding; plant defence; plant regeneration; plant transformation; pollen development; pollen germination; pollen tube; potato; prunus persica; QTL*; QTL analysis; QTL mapping; QTLs; quantitative trait loc*; rapeseed; resveratrol; RFLP; rice; root elongation; root exudates; rubisco activase; rye; sap flow; seed; self-incompatibility; shoot regeneration; solanum lycopersicum; solanum tuberosum; somaclonal variation; somatic embryogenesis; sorghum; soybean; spinacia oleracea; stomatal conductance; strawberry; sucrose synthase; sugar beet; sugarcane; sunflower; suppression subtractive hybridization; tall fescue; thlaspi caerulescens; tomato; transgenic plant*; transgenic rice; transgenic tobacco; tritic*; triticum aestivum; vicia faba; vitis vinifera; water potential; water use efficiency; wheat; winter wheat; xylem sap; zea mays*.

Références

- de Rassenfosse, G., J. Kozak et F. Seliger (2019). Geocoding of worldwide patent data. papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3425764.
- Ester, M., H.-P. Kriegel, J., Sander et X. Xu (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)*, Portland, Oregon, 2 au 4 août, Menlo Park, CA: AAAI Press, 226-231.
- Graff, G. et I. Hamdan-Livramento (2019). The Global Innovation Network of Plant Biotechnology. *Document de recherche économique de l'OMPI N° 59*. Genève: OMPI.
- Ikeuchi, K., K. Motohashi, R. Tamura et N. Tsukada (2017). Measuring Science Intensity of Industry using Linked Dataset of Science, Technology and Industry. *RIETI Discussion Paper Series*, 17-E-056. www.rieti.go.jp/en/publications/summary/17030073.html.
- Li, G.-C., R. Lai, A. D'Amour, D. M. Doolin, Y. Sun, V. I. Torvik, A. Z. Yu et L. Fleming (2014). Disambiguation and co-authorship networks of the U.S. patent inventor database (1975-2010). *Research Policy*, 43, 941-955.
- Migueluez, E., J. Raffo, C. Chacua, M. Coda-Zabetta, D. Yin, F. Lissoni et G. Tarasconi (2019). Reliés: le réseau mondial de l'innovation locale. *Document de travail de l'OMPI N° 58*, novembre. Genève: OMPI.
- Moreira, A. et M. Y. Santos (2007). Concave hull: A k-nearest neighbours approach for the computation of the region occupied by a set of points. In *Proceedings of the Second International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 2007)*, Barcelone, 8 au 11 mars. INSTICC Press. ISBN 978-972-8865-71-9, pp. 61-68.
- Morrison, G., M. Riccaboni et F. Pammolli (2017). Disambiguation of patent inventors and assignees using high-resolution geolocation data. *Scientific Data*, 4. doi.org/10.1038/sdata.2017.64.
- Yin, D. et K. Motohashi (2018). Inventor Name Disambiguation with Gradient Boosting Decision Tree and Inventor Mobility in China (1985 –2016), *RIETI Discussion Paper Series*, 18-E-018.
- Zehtabchi, M. (2019). Mesurer l'innovation dans le domaine des véhicules autonomes. *Document de recherche économique de l'OMPI N° 60*. Genève: OMPI.

Sigles

ADAS	Système avancé d'aide à la conduite	FDA	Administration fédérale de contrôle des produits alimentaires et pharmaceutiques des États-Unis d'Amérique
ADS	Système de conduite automatisée		
AHS	Système de conduite automatisée par équipements routiers		
BIO	Biotechnology Innovation Organization	JPO	Office des brevets du Japon
<i>Bt</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i>	KIPO	Office coréen de la propriété intellectuelle
CAAS	Académie chinoise des sciences académiques	CNIPA	Administration nationale de la propriété intellectuelle de la Chine
CDB	Convention sur la diversité biologique	PIB	Produit intérieur brut
CERN	Organisation européenne pour la recherche nucléaire	GIH	<i>global innovation hotspot</i> (pôle d'innovation général)
GCRAI	Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale	GM	General Motors
CIMMYT	Centre international d'amélioration du maïs et du blé	OGM	Organisme génétiquement modifié
CIP	Centre international de la pomme de terre	CIB	Classification internationale des brevets
CMU	Université Carnegie Mellon	MaaS	Mobilité en tant que service
CNRS	Centre national de la recherche scientifique	MIT	Massachusetts Institute of Technology
CPC	Classification coopérative des brevets	NOAA	Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique
CRISPR-Cas9	Protéine 9 associée à de courtes répétitions palindromiques groupées et régulièrement espacées	OMC	Organisation mondiale du commerce
CSAIL	Laboratoire de recherche en informatique et en intelligence artificielle du MIT	PCT	Traité de coopération en matière de brevets
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	R-D	Recherche-développement
DBSCAN	<i>Density-based spatial clustering of applications with noise</i> (regroupement spatial basé sur la densité des applications avec bruit)	SNC	<i>specialized niche cluster</i> (groupe de niche spécialisé)
ADN	Acide désoxyribonucléique	UKIPO	Office de la propriété intellectuelle du Royaume-Uni
CJUE	Cour de justice de l'Union européenne	UPOV	Union internationale pour la protection des obtentions végétales
EMBRAPA	Société brésilienne de recherche agricole	USPTO	Office des brevets et des marques des États-Unis d'Amérique
EPA	Agence de protection de l'environnement des États-Unis d'Amérique	OMPI	Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
UE	Union européenne		
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture		
FCA	Fiat Chrysler Automobiles		



Organisation Mondiale
de la Propriété Intellectuelle
34, chemin des Colombettes
Case postale 18
CH-1211 Genève 20
Suisse

Tél.: +41 22 338 91 11
Tlcp.: +41 22 733 54 28

Les coordonnées des bureaux extérieurs
de l'OMPI sont disponibles à l'adresse
www.wipo.int/about-wipo/fr/offices

Publication de l'OMPI n° 944F
ISBN 978-92-805-3096-4