unesco

RAPPORT DE L'UNESCO SUR LA SCIENCE

Une course contre la montre pour un développement plus intelligent

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Publié en 2021 par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

© UNESCO 2021

Œuvre publiée en libre accès sous la licence Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/). Les utilisateurs du contenu de la présente publication acceptent les termes d'utilisation de l'archive ouverte de libre accès UNESCO (www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbyncsa-fr).

Titre original : *UNESCO Science Report: the Race Against Time for Smarter Development – Executive Summary*
Publié en 2021 par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

Citation suggérée: Schneegans, S.; Lewis, J. and T. Straza (eds) (2021) *Rapport de l'UNESCO sur la science :une course contre la montre pour un développement plus intelligent – Résumé exécutif.* Editions UNESCO : Paris.

Les désignations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'UNESCO aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les idées et les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs ; elles ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'UNESCO et n'engagent en aucune façon l'Organisation.

Conception, mise en page et création graphique : Baseline Arts Ltd, Oxford, Royaume-Uni

Avec le soutien financier de

FONDATION IPSEN

Graphisme de la couverture: Eric Frogé

Photo de couverture : Dans cette image composite, un employé sanitaire confie une boîte d'échantillons sanguins prélevés sur des patients suspectés d'être infectés par la Covid-19 à un employé de Zipline, en vue de sa livraison à l'Institut Noguchi Mémorial de recherche médicale à Accra pour analyse. © Zipline International Inc.

Imprimé en France

SC-2021/WS/7

RAPPORT DE L'UNESCO SUR LA SCIENCE

Une course contre la montre pour un développement plus intelligent

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

unesco

À Pointe-Noire, en décembre 2020, de jeunes Congolais reçoivent une formation en installation et maintenance de panneaux photovoltaïques. Depuis sa création en 2011, la start-up Mac Services, dirigée par Moïse Makaya Ndende, a formé 12 000 jeunes dans toute la République du Congo. © Moïse Ndende/Mac Services

EN BREF

- Les priorités de développement se sont homogénéisées au cours des cinq dernières années, les pays de tous niveaux de revenu privilégiant leur transition vers des sociétés numériques et vertes.
- Pour accélérer cette transition, les gouvernements élaborent de nouveaux instruments de politique destinés à faciliter le transfert de technologies vers le secteur industriel.
- Pourtant, huit pays sur dix consacrent encore moins de 1 % de leur PIB à la recherche ; ils comptent largement sur l'expertise et les technologies scientifiques étrangères.
- Bien que les pays investissent davantage dans les technologies vertes, la science de la durabilité reste marginale au niveau mondial, selon une étude de l'UNESCO.
- Tous les gouvernements doivent veiller à ce que les politiques et les ressources nécessaires pour opérer leur double transition soient orientées dans la même direction dans les différents secteurs économiques, vers le même objectif stratégique de développement durable.
- La pandémie de COVID-19 qui sévit depuis 2020 a stimulé les systèmes de production de connaissances.
- L'évolution du paysage géopolitique et la pandémie ont suscité parmi les leaders de l'innovation un débat concernant la manière de préserver les intérêts stratégiques en matière de commerce et de technologie.

1 · Une course contre la montre pour un développement plus intelligent

Susan Schneegans, Jake Lewis et Tiffany Straza

INTRODUCTION

Les pays associent transition numérique et transition écologique

Le monde est engagé dans une course contre la montre pour repenser les modèles de développement d'ici à 2030, année d'échéance de la réalisation des 17 objectifs de développement durable des Nations Unies. Le sous-titre du *Rapport de l'UNESCO sur la science,* « Une course contre la montre pour un développement plus intelligent », rend bien compte de cette urgence.

Depuis 2015, la plupart des pays ont aligné leurs politiques nationales sur le *Programme de développement durable à l'horizon 2030*, et ont entamé une transition progressive vers des économies « vertes ». Les gouvernements renforcent le soutien politique en faveur de systèmes de production et de consommation plus intelligents. Grâce à l'amélioration du rapport coût-bénéfice des énergies renouvelables, les projets de production d'énergie « verte » se sont multipliés.

Toutefois, de nombreux gouvernements s'inquiètent encore de savoir comment concilier la préservation des marchés et des emplois avec leur engagement à l'égard de l'*Accord de Paris* (2015). Malgré les effets de plus en plus sensibles du changement climatique, le soutien des gouvernements et des entreprises à la transition énergétique qui s'impose reste insuffisant : en 2018, plus de 80 % de la production mondiale d'énergie reposaient sur le charbon, le pétrole et le gaz.

Parallèlement à leur transition écologique, les gouvernements font passer les services publics et les systèmes de paiement au numérique, dans le but d'améliorer la prestation des services, de soutenir les entreprises et de lutter contre la corruption et la fraude fiscale. Les politiques encouragent l'émergence d'une économie numérique, notamment la fabrication intelligente, la finance intelligente (technologies financières), les services de santé intelligents, comme la télémédecine, ou encore l'agriculture intelligente. Le sous-titre du rapport renvoie également à la forme de « développement plus intelligent » portée par les technologies numériques telles que l'intelligence artificielle (IA) et la robotique, les mégadonnées, l'Internet des objets et la technologie de la chaîne de blocs, qui convergent avec les nanotechnologies, la biotechnologie et les sciences cognitives pour former le socle de la quatrième révolution industrielle (ou « industrie 4.0 »).

Tous les pays, quel que soit leur niveau de revenu, ont entamé cette double transition écologique et numérique. La science est devenue synonyme de modernité et de compétitivité économique, voire de prestige. Elle offre aux pays frappés de plein fouet par le changement climatique l'espoir d'une meilleure résilience aux effets dévastateurs des tempêtes, incendies, sécheresses et autres catastrophes.

En revanche, les entreprises ne soutiennent pas toujours cette ambition, que ce soit par manque de motivation ou de capacités. Bon nombre d'entre elles continuent d'importer des technologies prêtes à l'emploi plutôt que de développer leurs propres solutions. Elles sont en outre souvent réticentes à collaborer avec les instituts de recherche publics. Partout dans le monde, les gouvernements imaginent de nouvelles mesures d'incitation pour favoriser le transfert de technologies, notamment en mettant sur pied des laboratoires qui permettent aux entreprises de « tester avant d'investir » dans les technologies numériques.

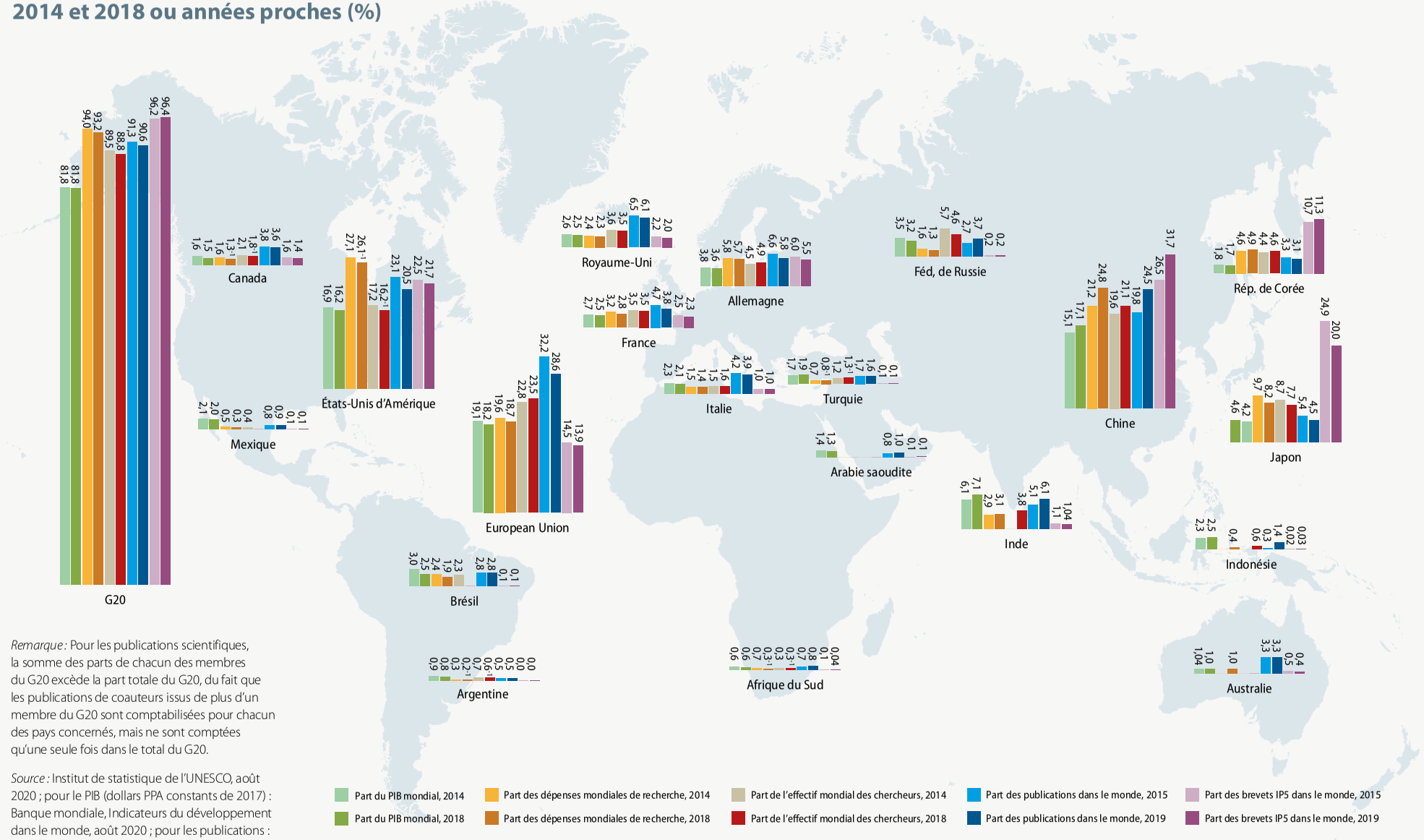
Afin de mener à bien cette double transition, les gouvernements devront s'engager davantage en faveur de la recherche-développement (R-D). Les pays du G20 représentent encore aujourd'hui neuf dixièmes des dépenses de recherche, de l'effectif des chercheurs, des publications et des brevets (figure 1.1). Bien que le budget de la recherche ait augmenté dans la plupart des régions entre 2014 et 2018 (figure 1.2), 80 % des pays investissent encore moins de 1 % de leur PIB dans la R-D. Dans certains cas, l'effectif des chercheurs a progressé plus rapidement que les dépenses qui leur sont allouées (figure 1.3), si bien qu'ils disposent individuellement de moins de ressources.

Pour réussir leur double transition, les gouvernements devront non seulement accroître le budget consacré à la R-D, mais aussi investir ces fonds de manière stratégique. Il leur faudra adopter une perspective à long terme et harmoniser leurs politiques économiques, numériques, environnementales, industrielles et agricoles, entre autres, de sorte qu'elles se renforcent mutuellement. Pour être cohérentes, les réformes, politiques et ressources devront toutes être orientées dans la même direction, vers le même objectif stratégique de développement durable.

En ce qui concerne les pays en développement, la double transition écologique et numérique vient accélérer un processus d'industrialisation qui demande normalement plusieurs dizaines d'années. Dans tous les pays, cette transition exige une approche intégrée de la planification à long terme et des investissements massifs dans les infrastructures.

La transformation rapide des sociétés qui s'opère ouvre des possibilités prometteuses en matière d'expérimentation sociale et économique, qui pourraient rendre la vie bien plus confortable. Elle présente, toutefois, un risque d'exacerbation des inégalités sociales et, pour les pays qui mettent en œuvre des projets d'infrastructures ambitieux, de vulnérabilité de la dette. La pandémie de COVID-19 a accentué ces deux facteurs de risque.

Figure 1.1 : **Part du G20 dans le PIB, les dépenses de recherche, l'effectif des chercheurs, les publications et les brevets au niveau mondial, 2014 et 2018 ou années proches (%)**



Remarque : Pour les publications scientifiques, la somme des parts de chacun des membres du G20 excède la part totale du G20, du fait que les publications de coauteurs issus de plus d'un membre du G20 sont comptabilisées pour chacun des pays concernés, mais ne sont comptées qu'une seule fois dans le total du G20.

Source : Institut de statistique de l'UNESCO, août 2020 ; pour le PIB (dollars PPA constants de 2017) : Banque mondiale, Indicateurs du développement dans le monde, août 2020 ; pour les publications : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales, traitement des données par Science-Metrix ; pour les brevets IP5 : PATSTAT, traitement des données par Science-Metrix

LA SCIENCE ET LA PANDÉMIE

Pendant la pandémie, les pays se sont tournés vers la science

Fin 2019, une nouvelle souche de coronavirus baptisée « COVID-19 » a été détectée en Chine, avant de rapidement se propager dans le monde entier. Dès le départ, les scientifiques ont échangé leurs informations et données, à commencer par la séquence du génome du coronavirus, début janvier 2020. La pandémie a mis en évidence les avantages de cette culture du partage à l'intérieur et à l'extérieur des frontières (voir l'essai *The time for open science is now*). Depuis 2015, la collaboration scientifique internationale connaît un essor dans de multiples régions du monde (figure 1.4).

Bon nombre de gouvernements ont rapidement constitué des comités scientifiques ad hoc afin de gérer la crise. Ils ont ainsi pu directement constater les avantages de disposer de spécialistes locaux pour surveiller et contrôler la progression du virus.

La gestion de crise est, par définition, réactive. Les structures permanentes peuvent fournir aux gouvernements des services consultatifs dans le domaine scientifique sur un large éventail de questions, au fil du temps, dans le but d'éclairer la planification stratégique nationale (voir l'essai *What the Covid-19 pandemic reveals about the evolving landscape of scientific advice*).

La pandémie a démontré l'utilité des technologies numériques en situation d'urgence. Le Brésil a ainsi pu s'appuyer sur 140 centres de télémédecine et d'e-santé pour assurer des consultations virtuelles et surveiller à distance l'état de santé des patients. Le 15 avril 2020, le Gouvernement a adopté une loi visant à étendre ces services aux zones rurales et aux villes éloignées (voir le chapitre 8).

Les pays dotés d'universités virtuelles sont parvenus à adapter rapidement leur système éducatif à l'apprentissage en ligne dans le contexte de la pandémie. Par exemple, grâce à la première université virtuelle du Golfe, l'Université électronique saoudienne (créée en 2013), l'Arabie saoudite a pu lancer 22 chaînes éducatives dans les huit heures qui ont suivi le début du premier confinement.

Plusieurs pays ont déployé des robots et des drones pour contribuer à freiner la propagation de la COVID-19. En Arabie saoudite, des drones ont été utilisés sur des marchés afin d'identifier les personnes à la température corporelle élevée. Le Rwanda et le Ghana ont également eu recours à des drones proposés par la société américaine Zipline, pour livrer dans des instituts spécialisés des échantillons sanguins prélevés dans des cliniques éloignées, afin qu'ils y soient analysés (voir la photo de couverture).

La pandémie compromet les acquis sociaux et environnementaux

La pandémie de COVID-19 a eu des effets dévastateurs sur l'économie mondiale. Les acquis socioéconomiques et environnementaux de ces dernières années risquent d'être mis à mal, voire annulés.

Entre 2016 et 2019, Madagascar avait réussi à réduire son niveau de pauvreté grâce à un ambitieux programme de réforme économique, associé à un changement de pouvoir qui s'est déroulé de façon pacifique en 2019 et qui a aidé à rétablir la confiance des investisseurs. Ces progrès ont été compromis par la pandémie de COVID-19. En mai 2020, le pays avait en effet perdu près de 500 millions de dollars des États-Unis en recettes touristiques. Or, ces revenus contribuent aux efforts de conservation nationaux. L'un des fondateurs du parc national de Ranomafana a prédit que, sans les quatre millions de dollars des États-Unis qui affluent habituellement dans la région grâce au tourisme et à la recherche, la population locale sera « obligée de recommencer à abattre la forêt et pratiquer l'agriculture » (voir le chapitre 20).

Le Gouvernement indonésien a justifié sa loi « d'ensemble » (loi sur la création d'emplois), entrée en vigueur en novembre 2020, par la nécessité d'attirer des investissements étrangers directs (IED) et de stimuler la croissance économique pour compenser l'impact de la pandémie de COVID-19. Cette loi allège les contraintes réglementaires et d'octroi de licence imposées aux entreprises en ce qui concerne la protection des travailleurs, et opère un passage d'un processus d'approbation basé sur des autorisations à un système dans lequel les développeurs déclarent eux-mêmes leur conformité à la réglementation. Cette nouvelle loi a suscité des inquiétudes chez 35 investisseurs mondiaux et chez d'autres acteurs quant au coût environnemental et social qu'elle implique (voir le chapitre 26).

La pandémie a stimulé les systèmes de connaissances

La pandémie de COVID-19 a fait beaucoup de dégâts humains et économiques, mais elle a aussi dynamisé les systèmes de production de connaissances.

Pendant cette crise, on a assisté aux États-Unis à une mobilisation sans précédent de l'industrie des biosciences. À la mi-2020, on estimait à plus de 400 le nombre de programmes de développement de médicaments visant à éradiquer la maladie. Ces efforts se sont inscrits dans le cadre de l'opération Warp Speed de la Maison-Blanche, un partenariat public-privé qui a affecté un budget d'environ neuf milliards de dollars des États-Unis au développement et à la fabrication de vaccins candidats, notamment par le biais d'accords d'achat anticipé (voir le chapitre 5).

Le Conseil national de la recherche scientifique du Liban a publié un appel à projets éclair pour la gestion de la COVID-19 dès mars 2020. Cela a débouché sur l'acceptation de 29 projets de recherche portant sur des sujets tels que la politique de vaccination, la mise au point de tests rapides et l'utilisation de l'IA pour faciliter le diagnostic précoce de la maladie et mesurer ses effets sur la santé mentale des travailleurs de première ligne (voir le chapitre 17).

De nombreux pays ont accéléré leurs processus d'approbation de propositions de projet de recherche. Par exemple, début avril 2020, les agences pour l'innovation de l'Argentine, du Brésil et de l'Uruguay avaient toutes lancé des appels à propositions de recherche bénéficiant d'un processus d'approbation accéléré. Les deux agences pour l'innovation du Pérou ont quant à elles abaissé leur délai de réponse à deux semaines (voir le chapitre 7).

En octobre 2020, l'Organisation mondiale de la Santé[1] a indiqué que l'Afrique représentait environ 13 % des 1 000 technologies nouvellement conçues ou modifiées dans le monde en réponse à la pandémie, ce qui est proche de sa part dans la population mondiale (14 %). Parmi les technologies développées sur le continent, 58 % étaient basées sur des solutions numériques comme des chatbots (assistants virtuels), des outils d'autodiagnostic et des applications de traçage des personnes-contacts, 25 % sur l'impression en trois dimensions (3D), et 11 % sur la robotique (voir le chapitre 20).

En avril 2020, le Gouvernement a chargé l'Observatoire sud-africain de radioastronomie d'assurer la gestion de l'effort national visant à concevoir, produire et mettre à disposition 20 000 respirateurs artificiels. Cet organisme a été choisi pour son expérience de la mise au point de systèmes sophistiqués destinés au radiotélescope MeerKAT, dans le Cap-Nord. En décembre 2020, 18 000 unités avaient déjà été fabriquées et 7 000 distribuées (voir le chapitre 20).

L'Inde a quant à elle concentré sa réponse à la pandémie sur la production de solutions à bas coût dans trois domaines principaux, y compris à des fins d'exportation : la recherche et la fabrication de vaccins ; la fabrication de versions génériques de médicaments qui ont « changé la donne » ; et l'ingénierie frugale d'appareils médicaux en forte demande, comme les respirateurs à faible coût (voir le chapitre 22).

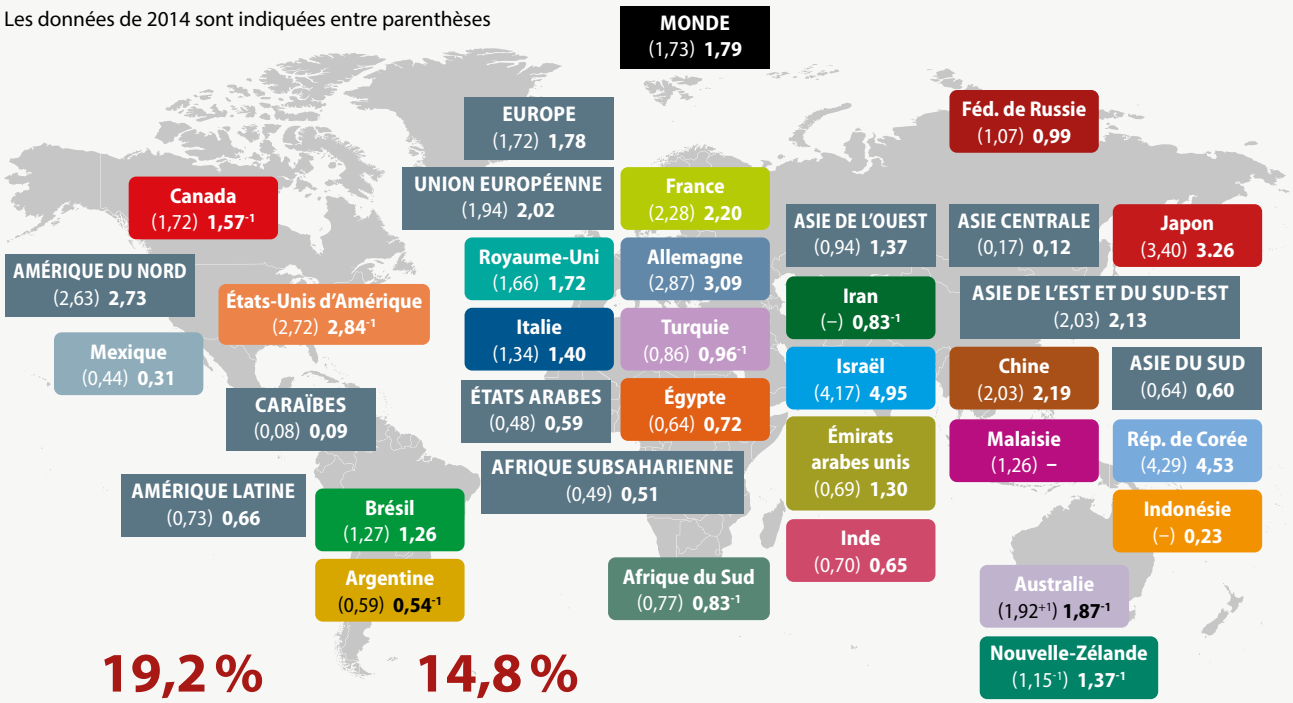
À Sri Lanka, l'industrie pharmaceutique ne figurait pas parmi les secteurs prioritaires visés par la *Stratégie nationale d'exportation 2018-2022*, jusqu'à ce que la crise de la COVID-19 stimule la demande. Cela a conduit, en 2020, le Gouvernement et le secteur privé à investir 30 millions de dollars des États-Unis dans une nouvelle usine de produits pharmaceutiques installée dans la zone franche industrielle de Koggala (voir le chapitre 21).

La crise de la COVID-19 est venue rappeler l'intérêt d'établir des liens solides entre secteur public et secteur privé pour produire des équipements tels que respirateurs, masques, médicaments et vaccins. Début 2020, une équipe d'ingénieurs en biomédecine de l'Université d'Antioquia (Colombie) a mis au point un respirateur à faible coût en collaboration avec l'hôpital San Vicente de Paul, dans le cadre d'un projet soutenu par le Centre de promotion des entreprises Ruta N Medellín. Ce respirateur a été approuvé à la mi-2020 par l'organisme de surveillance des médicaments, l'INVIMA, puis fabriqué par des entreprises spécialisées dans l'électroménager et l'automobile ayant reconverti leurs chaînes de montage. Les développeurs ont utilisé des techniques à code source ouvert, permettant ainsi à d'autres fabricants de télécharger le même modèle de respirateur (voir le chapitre 7).

De nombreux gouvernements ont mis en place des mesures incitatives afin que les petites et moyennes

Figure 1.2 : **Investissement dans la recherche-développement en pourcentage du PIB, par région et par pays, 2014 et 2018 (%)**

Les données de 2014 sont indiquées entre parenthèses



*en milliers de milliards de dollars PPA constants de 2017

Source : Estimations mondiales et régionales basées sur les données nationales de l'Institut de statistique de l'UNESCO, août 2020, sans extrapolation

entreprises (PME) participent à la lutte contre la pandémie. En 2020, en Iran, la campagne Corona Plus a proposé des incitations financières aux start-ups pour les aider à produire du matériel médical, notamment des équipements de protection et des respirateurs (voir le chapitre 15).

Le Programme d'aide à la recherche industrielle du Canada a apporté un soutien financier aux PME pour les aider à perfectionner leurs produits ou processus liés à la COVID-19 et à les mettre sur le marché. En tout, le Gouvernement fédéral a alloué un budget d'un milliard de dollars canadiens à une stratégie nationale de recherche médicale au titre de sa réponse rapide à la pandémie.

Jusqu'en 2020, année où la COVID-19 a radicalement transformé la vie des Canadiens, aucune crise n'avait suscité de débat national de fond sur la direction prise par le pays dans les domaines de la science, de la technologie et de l'innovation (STI). La pandémie « pourrait, à terme, redéfinir les processus, la production et la gouvernance scientifiques du Canada sous des formes qu'il est impossible de prévoir. Elle aura également des répercussions sur la prochaine génération de chercheurs et sur les mécanismes de financement de la science elle-même » (voir le chapitre 4).

La crise de la COVID-19 soulève des questions plus larges et plus fondamentales que la crise économique mondiale de 2008, notamment en ce qui concerne le rôle de l'État dans l'économie, la relocalisation des chaînes d'approvisionnement, l'organisation du travail, ou encore la valeur de la proximité (voir le chapitre 9).

LA DOUBLE TRANSITION NUMÉRIQUE ET ÉCOLOGIQUE

La pandémie a mis en lumière la dépendance à l'égard des chaînes de valeur mondiales

La pandémie a fait ressortir la dépendance des pays vis-à-vis des chaînes de valeur mondiales de ressources stratégiques. Du fait de la complexité des composants des appareils de la vie quotidienne moderne, les fabricants ont recours à des sous-traitants basés à l'étranger qui se spécialisent dans un domaine bien précis, et qui sont eux-mêmes tributaires d'autres fournisseurs de produits essentiels. Dans un système d'approvisionnement (ou chaîne de valeur) comportant autant de niveaux, il est très difficile de relocaliser la fabrication ou de réorienter du jour au lendemain une usine vers un autre type de production (voir le chapitre 5). Par exemple, les respirateurs fabriqués aux États-Unis pour les patients atteints de la COVID-19 contiennent des composants essentiels qui proviennent du Canada. La fermeture de la frontière, début 2020, a par conséquent ralenti la production américaine de respirateurs (voir le chapitre 4).

L'Union européenne (UE) dépend de produits importés comme les microprocesseurs et, pour des technologies clés, de matières premières importées telles que les terres rares. D'après le premier rapport annuel de prospective stratégique de la Commission européenne, intitulé « *Tracer la voie vers une Europe plus résiliente* » (2020), cette dépendance menace potentiellement la souveraineté économique de l'Union (voir le chapitre 9).

Dans les années 1980, les pays industrialisés ont délocalisé une grande partie de leur production dans les pays en développement, où la main-d'œuvre bon marché et non qualifiée abondait. Au début de la pandémie, ils se sont donc retrouvés tributaires des importations d'équipements de protection individuelle et de médicaments courants comme le paracétamol.

Les pays dotés d'un secteur manufacturier solide, en revanche, ont été en mesure de réorienter rapidement leurs chaînes de montage lorsque la pandémie a frappé. Cela a par exemple été le cas des entreprises colombiennes spécialisées dans l'électroménager et l'automobile citées plus haut.

La Chine possède un secteur manufacturier de plus en plus sophistiqué. Cependant, il dépend encore des importations de certaines technologies de base, comme les semi-conducteurs. Cette vulnérabilité technologique est illustrée par le sort de l'entreprise chinoise ZTE, qui a été contrainte d'arrêter la plupart de ses activités quelques semaines après avoir été coupée de ses fournisseurs américains de composants matériels et de services Android (Google), en avril 2018, après que les États-Unis ont imposé des sanctions commerciales à l'entreprise (voir le chapitre 23)[2].

C'est en partie en raison de sa volonté de réduire sa dépendance à l'égard des fournisseurs américains de haute technologie que le Gouvernement chinois a lancé, en 2015, une politique industrielle mise en œuvre par l'État sur dix ans baptisée *Made in China 2025 (Fabriqué en Chine 2025)*. Cette politique encourage les entreprises chinoises à accroître leur part du marché mondial, notamment dans les secteurs suivants : véhicules électriques, robotique et IA de pointe, technologies agricoles, ingénierie aérospatiale, nouveaux matériaux synthétiques, biomédecine émergente, infrastructures ferroviaires haut de gamme et génie maritime (voir le chapitre 23).

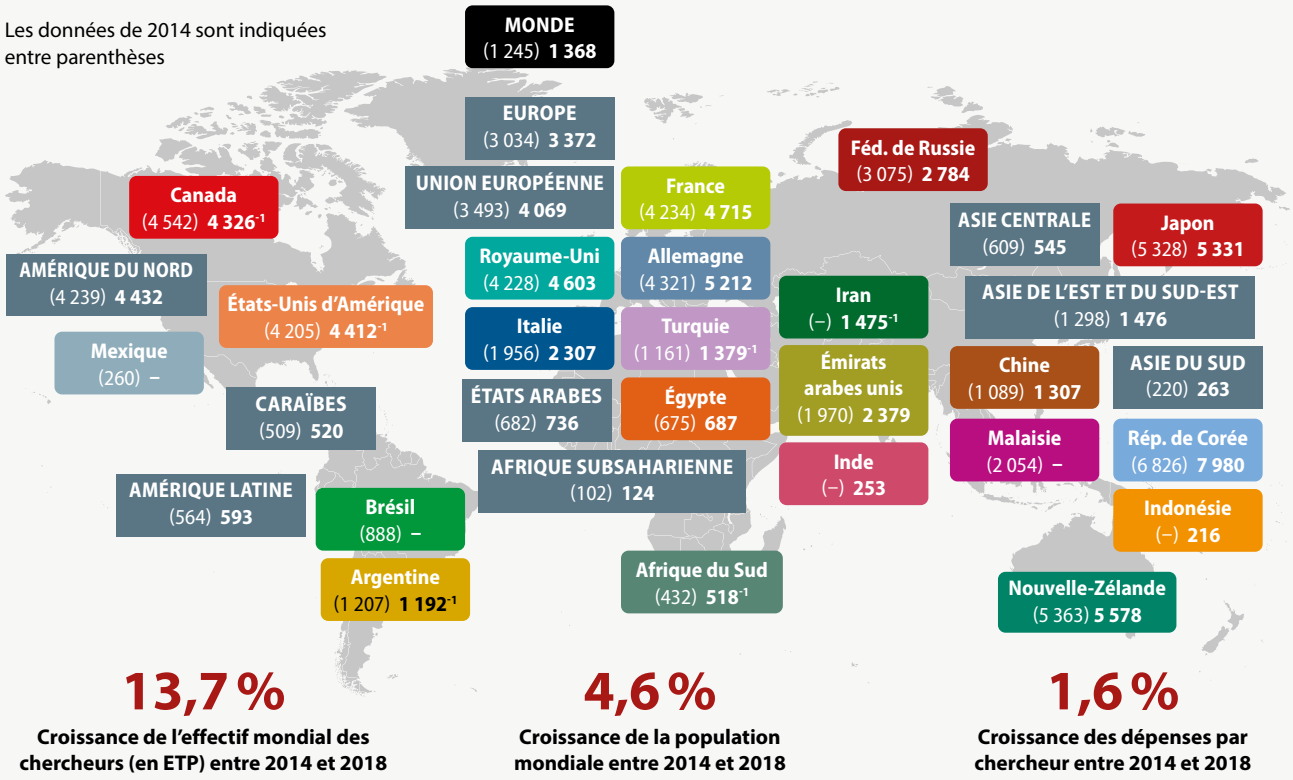
Les chaînes de valeur mondiales ont également un impact, bien que différent, sur les pays dont le système scientifique est peu développé. Les filiales des sociétés multinationales intégrées dans ces chaînes de valeur ont tendance à maintenir, dans les pays en développement, une politique consistant à utiliser les connaissances qui existent déjà, plutôt que de participer à la recherche locale. C'est notamment le cas en Amérique latine. Ces filiales limitent leur production locale à la fabrication, qui nécessite peu de nouvelles connaissances et ne favorise pas les liens avec les institutions scientifiques locales (voir le chapitre 7).

La fabrication de pointe cherche à redynamiser l'industrie

Avant la pandémie, les pays développés investissaient déjà dans les technologies de fabrication de pointe en vue de redynamiser leur secteur industriel national.

Aux États-Unis, il existe un consensus au sein du Gouvernement sur la nécessité pour le pays de s'adapter à un environnement international de plus en plus concurrentiel. Cela a conduit, depuis 2016, le Gouvernement fédéral à donner la priorité à des plates-formes stratégiques essentielles du secteur numérique, dans des domaines tels que l'IA, l'informatique quantique, les réseaux mobiles

Figure 1.3 : **Nombre de chercheurs (en ETP) par million d'habitants, par région et par pays, 2014 et 2018**



Source : Estimations mondiales et régionales basées sur les données nationales de l'Institut de statistique de l'UNESCO, août 2020, sans extrapolation

de pointe et la cybersécurité. Les trois objectifs du plan stratégique dédié à l'industrie publié en 2018 visent à opérer une transition vers de nouvelles technologies de fabrication, former la main-d'œuvre du secteur manufacturier et accroître les capacités de la chaîne d'approvisionnement industrielle nationale. Ces nouvelles technologies comprennent les éléments susmentionnés, ainsi que la robotique industrielle, l'impression 3D, les semi-conducteurs et l'électronique hybride, la photonique, les textiles de pointe, la bioproduction et l'agroalimentaire (voir le chapitre 5).

La politique industrielle rénovée de l'UE (2021) soutient le développement de technologies stratégiquement importantes pour l'avenir industriel de l'Europe. Il s'agit notamment de la robotique, de la microélectronique, des infrastructures de calcul de haute performance et de données en nuage, des chaînes de blocs, des technologies quantiques, de la photonique, de la biotechnologie industrielle, de la biomédecine, des nanotechnologies, des produits pharmaceutiques et des matériaux de pointe.

Le Président du Conseil européen, Charles Michel, considère que l'autonomie stratégique de l'Europe est devenue « l'objectif numéro un de notre génération ». En 2020, le rapport de la Commission européenne *Une nouvelle stratégie industrielle pour l'Europe* a souligné l'importance de préserver la souveraineté technologique de l'Union, ainsi que ses intérêts stratégiques en matière de commerce et de technologie dans des domaines tels que l'IA et les technologies et infrastructures numériques connexes.

Il est possible que le découplage technologique qui se profile entre les États-Unis et la Chine, qui cherchent chacun à établir leur supériorité technologique, oblige les autres régions du monde à « choisir entre deux blocs technologiques de plus en plus distincts, notamment en ce qui concerne les télécommunications, la numérisation, l'IA et l'Internet. Les autres pays du monde peuvent aussi décider de poursuivre leur partenariat avec les deux blocs, mais cela serait inefficace et extrêmement coûteux » (voir le chapitre 9).

L'industrie 4.0, une priorité commune

Les technologies numériques sont jugées cruciales pour la future compétitivité économique. En ce qui concerne les technologies transversales, l'IA et la robotique ont dominé la production scientifique 2018-2019 dans tous les pays, quel que soit leur niveau de revenu (figure 1.5). L'augmentation du nombre de publications sur l'IA constatée depuis 2015 dans les pays à revenu intermédiaire inférieur a mécaniquement réduit la part du G20 dans cette production scientifique (figure 1.6).

De nombreux pays ont mis en place des mécanismes institutionnels destinés à favoriser l'adoption des technologies de l'industrie 4.0. Par exemple, en 2019, l'Afrique du Sud a formé une commission présidentielle

pour la quatrième révolution industrielle, composée d'une trentaine de parties prenantes possédant une expérience dans les secteurs universitaire, industriel et gouvernemental. Elle a également établi un comité interministériel sur l'industrie 4.0. La République de Corée s'est quant à elle dotée d'un comité présidentiel pour la quatrième révolution industrielle en 2017. L'Australie dispose d'une agence pour la transformation numérique (créée en 2015) ainsi que d'une équipe spéciale du Premier ministre sur l'industrie 4.0 (créée en 2016), qui encourage la collaboration avec des groupes industriels allemands et américains.

Les pays, quel que soit leur niveau de revenu, adoptent des stratégies en faveur de l'industrie 4.0. La stratégie *I-Korea* de la République de Corée (2017) se concentre sur de nouveaux moteurs de croissance, dont l'IA, les drones et les véhicules autonomes, conformément à la politique économique axée sur l'innovation du Gouvernement. La stratégie *Making Indonesia 4.0*, qui vise à améliorer les performances de l'industrie indonésienne, en est un autre exemple (voir le chapitre 26). L'Ouganda, quant à lui, a adopté en octobre 2020 sa propre *Stratégie nationale 4IR*, qui met l'accent sur l'e-gouvernance, l'urbanisme (villes intelligentes), les soins de santé, l'éducation, l'agriculture et l'économie numérique. Pour aider les entreprises locales, le Gouvernement ougandais envisageait de présenter, en 2020, un projet de loi sur les start-ups locales qui obligerait tous les agents comptables à épuiser le marché local avant d'acquérir des solutions numériques auprès de pays étrangers (voir le chapitre 19).

L'économie numérique est également au cœur du *Plan stratégique Cameroun numérique 2020* (2017). Le pays a créé un centre de haute technologie spécialisé dans la robotique, la fabrication numérique et la vision par ordinateur, ainsi qu'un centre d'impression 3D sans équivalent en Afrique subsaharienne. En outre, l'École supérieure nationale des postes, des télécommunications et des technologies de l'information et de la communication a ouvert ses portes à Yaoundé en 2016, et un centre de formation à la conception et au dessin assistés par ordinateur fonctionne depuis 2017. Le Cameroun compte 28 pôles technologiques actifs. En 2019, c'est le pays du sous-continent qui a le plus publié sur l'IA et la robotique par rapport à la taille de sa population (voir les chapitres 19 et 20).

Une étude du Groupe spécial mobile (GSMA) a répertorié environ un quart des pôles technologiques africains en tant qu'espaces de travail partagé ou « makerspaces » (laboratoires ouverts), dans lesquels l'utilisation d'imprimantes 3D, de drones et d'autres technologies de l'industrie 4.0 est une pratique courante. Le nombre de pôles technologiques actifs en Afrique a monté en flèche entre 2016 et 2020, passant de 314 à 744 (voir le chapitre 20).

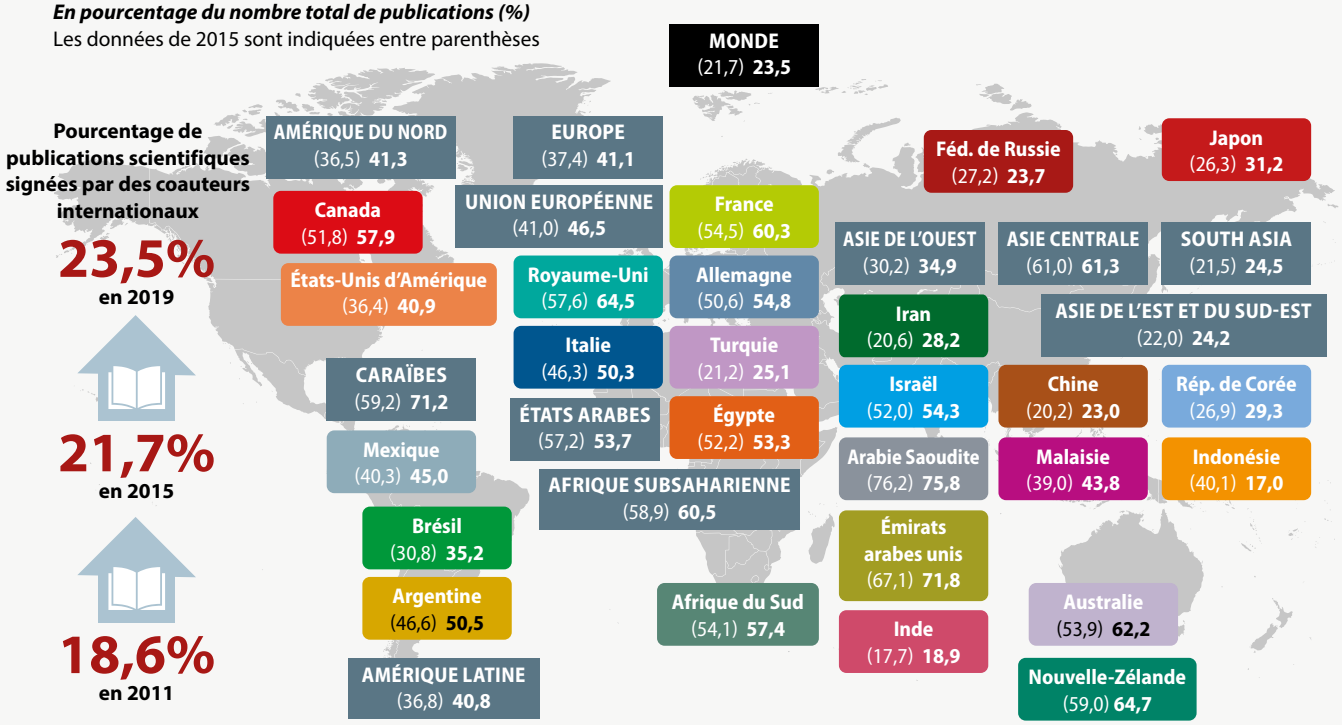
Aider les entreprises à passer au numérique

Plusieurs pays s'efforcent de devenir des pôles numériques régionaux, comme l'Australie, Djibouti et le Maroc.

Cependant, la plupart des entreprises ne sont pas encore passées au numérique. La Commission européenne estime qu'au sein de l'UE, seulement une entreprise sur cinq environ

Figure 1.4 : **Copublications scientifiques internationales, par région et par pays, 2015 et 2019 (%)**

En pourcentage du nombre total de publications (%)
Les données de 2015 sont indiquées entre parenthèses



Source : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales, traitement des données par Science-Metrix

a effectué sa transition. La Commission a mis en place des pôles d'innovation numérique afin de donner à toutes les entreprises, quelle que soit leur taille, la possibilité de « tester avant d'investir » dans les technologies numériques.

La stratégie de l'Australie pour l'industrie 4.0, *Tech Future* (2018), propose de créer des « laboratoires d'expérimentation » au sein de cinq universités, en vue d'accompagner les entreprises dans leur évolution vers des usines « intelligentes » (voir le chapitre 26).

La Malaisie aide les entreprises à numériser leurs processus opérationnels grâce à la subvention d'automatisation intelligente lancée par la Malaysia Digital Economy Corporation en juillet 2020, dans le cadre de la *Politique nationale pour l'industrie 4.0*. Cette subvention de contrepartie est destinée aux sociétés du secteur tertiaire qui assument au moins la moitié du coût total de leur projet de numérisation. Le Centre d'expérimentation de fabrication intelligente, qui doit ouvrir ses portes en 2021, donnera aux PME un accès aux plates-formes et technologies existantes, afin qu'elles bénéficient d'un « banc d'essai » pour leurs innovations (voir le chapitre 26)[3].

Aux Philippines, le programme SETUP 4.0 propose aux micro-entreprises et aux PME des prêts pouvant aller jusqu'à cinq millions de pesos philippins (soit environ 100 000 dollars des États-Unis) pour innover dans des domaines liés à l'industrie 4.0. En 2020, il devait soutenir 800 entreprises, notamment sous la forme de matériel et de formation (voir le chapitre 26).

La course à l'intelligence artificielle

Entre 2016 et 2020, plus de 30 pays[4] ont adopté des stratégies spécifiquement consacrées à l'IA. Alors que le Canada aspire à être un acteur de premier plan dans le débat international sur l'impact potentiel de l'intelligence artificielle sur la société (voir le chapitre 4), la Chine, la Fédération de Russie et les États-Unis se font concurrence pour acquérir un avantage comparatif dans le domaine de l'IA proprement dit.

En 2017, le Président de la Fédération de Russie, Vladimir Poutine, a affirmé que « la personne qui prendra[it] les rênes dans ce domaine dirigera[it] le monde » (voir le chapitre 13).

La Chine nourrit le dessein d'être « le premier centre mondial pour l'innovation en matière d'IA » d'ici à 2030, comme l'indique son *Plan de développement de la nouvelle génération d'intelligence artificielle*. Déjà en tête du classement mondial des détenteurs de brevets d'IA, elle manque toutefois de talents de premier ordre dans ce secteur. Le Gouvernement a donc lancé des programmes titanesques à l'horizon 2030 dans le domaine des sciences et de l'ingénierie, notamment de l'informatique quantique et des neurosciences (voir le chapitre 23).

Aux États-Unis, le projet de budget de recherche pour 2021 établi par le Gouvernement en 2020 prévoyait des augmentations importantes au profit de l'informatique quantique et de l'IA, conformément à l'objectif du Gouvernement de doubler, d'ici à 2022, les investissements publics dans la recherche dans ces deux domaines par rapport à 2019 (voir le chapitre 5).

Progression parallèle des objectifs numériques et écologiques

La plupart des pays sont convaincus que leur future compétitivité économique dépendra de la mesure dans laquelle ils parviendront à négocier leur transition vers des sociétés numériques.

En parallèle, l'adoption des objectifs de développement durable en 2015, associée au coût de plus en plus élevé du développement non durable et aux effets du changement climatique, a fait de la transition écologique des pays un objectif prioritaire. Les phénomènes convergents que sont la croissance économique forte, la dépendance accrue à la technologie et la hausse des températures entraînent une augmentation des besoins en énergie. En Asie centrale, par exemple, deux décennies de croissance économique rapide ont fait grimper la demande d'électricité, ce qui a augmenté les émissions de carbone et réduit les recettes d'exportation : 86 % du gaz naturel ouzbek sont désormais utilisés pour la consommation intérieure (voir le chapitre 14).

Les pays sont tout à fait conscients que leur compétitivité économique future dépendra de la vitesse à laquelle ils parviendront à opérer, simultanément, leur transition vers une économie verte et numérique. Ce double objectif se reflète notamment dans les stratégies adoptées par la Communauté des Caraïbes (CARICOM) à travers sa *Politique énergétique* (2013) et sa *Stratégie numérique 2025* (2019). Les États membres de la CARICOM ont en outre créé, en 2018, le Centre des Caraïbes pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (voir le chapitre 6).

La politique industrielle de l'Union européenne (2021) repose sur trois piliers : la transition écologique, la transition numérique et la compétitivité mondiale. Le bloc européen prévoit d'y allouer 1 800 milliards d'euros de fonds publics entre 2021 et 2027, dont 30 % seront investis dans la double transition écologique et numérique des pays. L'économie circulaire sera l'un des domaines prioritaires de la transition « verte » (voir le chapitre 9).

En 2018, la Fédération de Russie a profité de sa présidence tournante de l'Union économique eurasiatique (UEE) pour proposer plusieurs secteurs dans lesquels « réajuster » l'Union, notamment en créant un espace numérique et un marché énergétique communs aux États membres et en instaurant une coopération dans les domaines des technologies vertes, des sources d'énergie renouvelable, de la bio-ingénierie, des nanotechnologies, de l'écologie, de la médecine et de l'espace. Les États membres souhaitent établir un « territoire d'innovation » qui tirerait parti de leurs divers atouts (voir le chapitre 13). La même année, l'UEE a lancé sa *Stratégie numérique* (voir le chapitre 14).

La Tunisie, à l'instar d'autres pays en développement, a besoin de diversifier son économie pour créer des emplois et attirer davantage d'investissements étrangers directs. Elle fait partie des pays, de plus en plus nombreux, qui choisissent la voie des industries à forte concentration de savoirs. Les investissements étrangers directs en Tunisie ont augmenté de 16 % pendant la période 2017-2018, car des sociétés étrangères du secteur électronique ont été attirées vers le

pays par une main-d'œuvre hautement qualifiée et d'un coût concurrentiel, en particulier dans les sous-secteurs de l'automobile et de l'aéronautique. En mai 2017, une quarantaine de sociétés d'électronique, dont les ventes cumulées annuelles représentent un montant d'environ 1,2 milliard de dollars des États-Unis, ont fondé leur propre groupement, baptisé ELENTICA (voir le chapitre 17).

En octobre 2018, ce groupement a noué un partenariat avec le Ministère tunisien de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, dans le but de promouvoir la collaboration scientifique et d'implanter des centres de recherche au sein des sociétés affiliées à ELENTICA. Ces centres de recherche concentreront leurs activités sur des domaines tels que l'Internet des objets, les villes intelligentes, les énergies renouvelables, les réseaux de distribution d'électricité intelligents, les véhicules électriques et l'e-agriculture. D'autres secteurs technologiques connaissent un essor rapide : les exportations ont fortement augmenté dans l'aéronautique pendant la période 2010-2018, et ont plus que triplé dans le secteur pharmaceutique entre 2012 et 2018 (voir le chapitre 17).

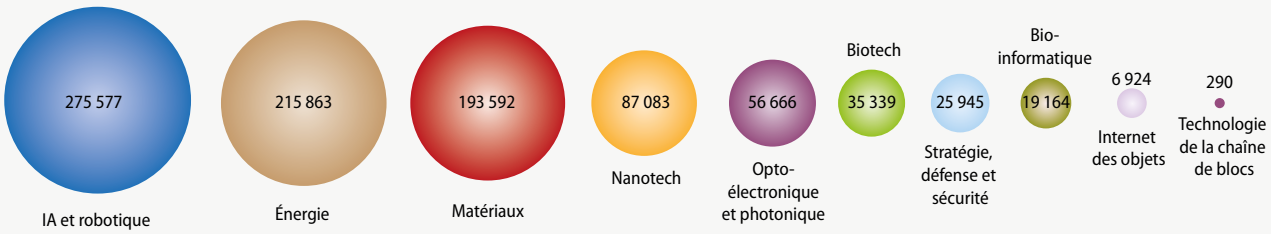
La Tunisie est un exemple parfait du défi qui se pose aux pays, quel que soit leur niveau de revenu : comment passer en peu de temps à une économie à la fois numérique et écologique, sans négliger d'investir dans l'une ou l'autre ni alourdir le fardeau de la dette ? Le monde a désormais moins de dix ans devant lui pour atteindre ses objectifs de développement durable à l'horizon 2030.

La mise en œuvre simultanée de ces objectifs parallèles exige un investissement conséquent et concomitant dans le développement des infrastructures (centres de données, installations de calcul de haute performance, parcs solaires et éoliens, etc.), associé à une réforme réglementaire ainsi qu'à une refonte de l'enseignement et de la formation technique et professionnelle visant à doter les jeunes des compétences nécessaires pour intégrer le marché du travail de demain. Pour couronner le tout, de nombreux pays en développement modernisent dans le même temps leurs réseaux de transport, notamment les routes, ports, pipelines et voies ferroviaires. Il sera essentiel de disposer de réseaux de transport transnationaux modernes pour faire circuler les marchandises dans la future zone de libre-échange continentale africaine, par exemple.

Le Japon est sans doute le pays qui s'empare le plus énergiquement de ce double objectif écologique et numérique. Confronté à un faible taux de natalité et au vieillissement de la population, le Gouvernement a lancé en 2017 une nouvelle stratégie de croissance baptisée « Société 5.0 », dont le but est de créer un système socioéconomique inclusif et durable s'appuyant sur les technologies numériques. Il s'agit d'aller plus loin que l'industrie 4.0 et de transformer le mode de vie des Japonais. Les villes seront alimentées par une énergie fournie de manière flexible et décentralisée, de façon à répondre aux besoins spécifiques des habitants tout en faisant des économies d'énergie. Des drones aériens assureront les services postaux à des localités dépeuplées. Dans les secteurs sujets à une pénurie de main-d'œuvre, des véhicules autonomes se chargeront de tâches telles que le labour des champs, et des robots seront déployés dans les établissements de soins (voir le chapitre 24).

Le Gouvernement japonais fait le pari que la stratégie *Société 5.0* permettra au pays de surmonter la stagnation économique dont il souffre de façon chronique. Les entreprises japonaises ont réagi au rétrécissement du marché intérieur en faisant l'acquisition de sociétés à l'étranger pour « acheter du temps et de la main-d'œuvre ». Par conséquent, les investissements désertent le Japon, laissant peu à peu le tissu industriel du pays se désagréger. Bien qu'il n'ait pas joué jusqu'à présent un rôle de leader au sein de l'industrie numérique, le Japon pourrait tirer parti des atouts en matière de génie mécanique et des matériaux qui ont toujours été les siens pour développer des systèmes cyberphysiques avancés. Le Gouvernement a fait activement entrer l'IA dans le monde du travail, escomptant que le dépeuplement et le vieillissement de la population ne seront plus des désavantages dans une économie nécessitant moins de main–d'œuvre (voir le chapitre 24).

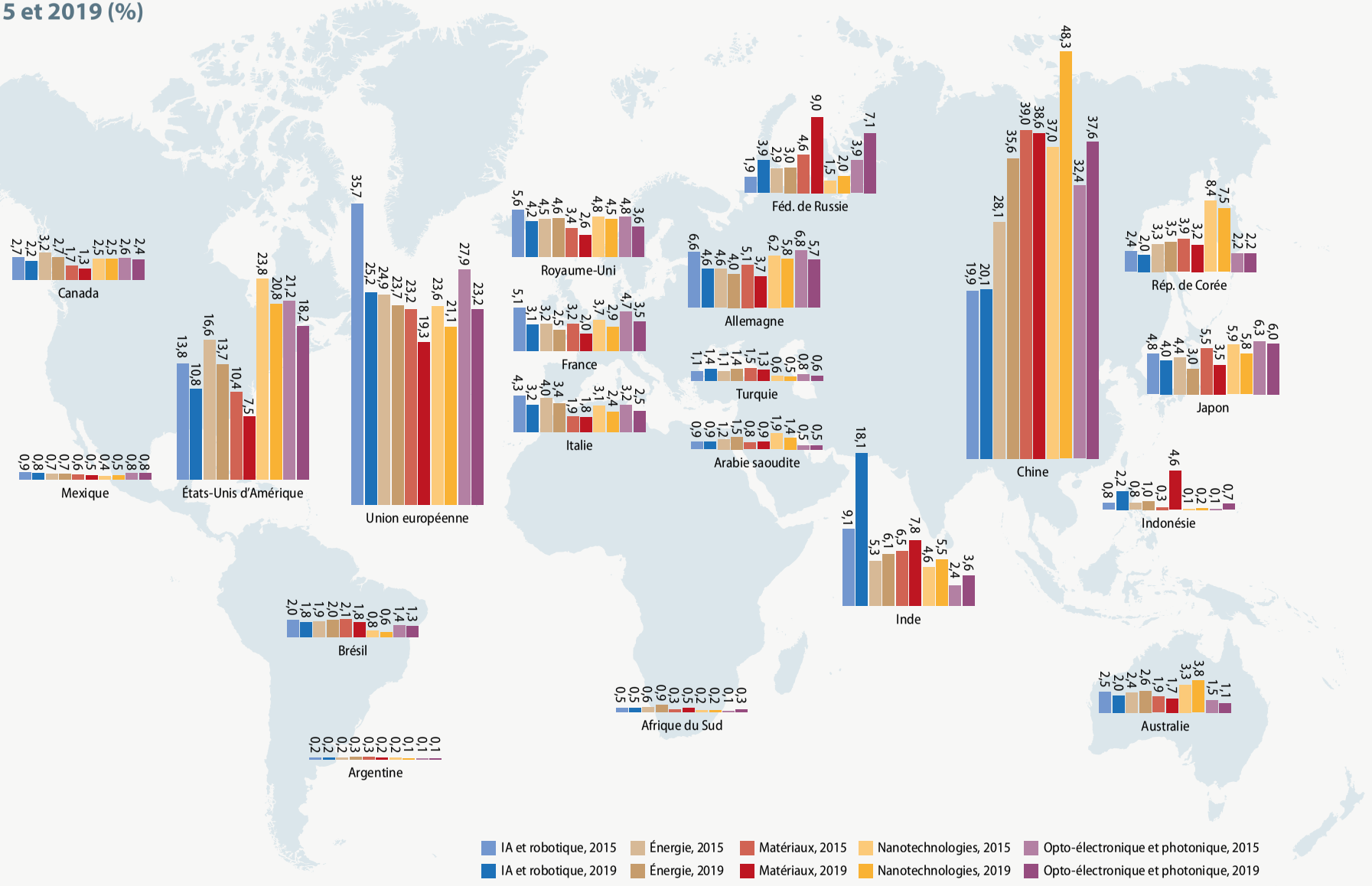
Figure 1.5 : **Nombre de publications scientifiques par technologie stratégique transversale, 2018-2019**



Remarque : Les données bibliométriques relatives aux sous-domaines du grand domaine des technologies stratégiques transversales sont basées sur une classification par revue ; voir l'annexe 5 pour plus de détails. Les premières revues consacrées à la technologie de la chaîne de blocs ont été créées en 2018.

Source : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales, traitement des données par Science-Metrix

Figure 1.6 : **Part des publications mondiales consacrées à des technologies stratégiques transversales spécifiques au sein du G20, 2015 et 2019 (%)**



Remarque : Le terme IA est l'abréviation d'« intelligence artificielle ». Les pourcentages indiqués incluent des valeurs non exclusives, du fait que les travaux signés par de multiples auteurs issus de différents pays sont comptabilisés dans chacun de ces pays.

Source : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales, traitement des données par Science-Metrix.

Un risque d'accentuation des inégalités sociales

La numérisation de l'économie suppose que les citoyens possèdent des comptes bancaires et des cartes de crédit leur permettant d'effectuer des transactions en ligne. La mise en place d'un système de paiement numérique dans les pays en développement favorisera l'émergence du commerce en ligne et la lutte contre l'évasion fiscale et la corruption, mais elle risque également d'accroître la vulnérabilité des personnes employées dans l'économie informelle, où les paiements en espèces sont la norme.

L'Inde est une économie monétaire. En 2016, pour réduire l'ampleur de l'économie informelle, le Gouvernement a pris l'initiative radicale de démonétiser deux billets de banque qui représentaient environ 86 % des billets en circulation à l'époque. Entre 2014 et 2017, le nombre de citoyens titulaires d'un compte bancaire est passé de 53 % à 80 %, et le marché numérique s'est développé. Pendant la crise de la COVID-19, les paiements en ligne sont devenus une solution particulièrement séduisante en Inde et ailleurs, puisqu'ils permettent d'effectuer des transactions financières tout en respectant la distanciation physique.

En Afrique, la révolution numérique est portée par la croissance constante des systèmes de téléphonie mobile et de paiement numérique dotés de fonctionnalités avancées, basées sur la convergence entre paiement mobile et Internet des objets. Le Kenya compte parmi les marchés du crédit numérique les plus matures des économies en développement, le volume des prêts numériques ayant en effet dépassé celui des prêts traditionnels en 2015. En 2020, le centre national de données de la Tanzanie a lancé la N-Card, qui permet d'effectuer des paiements numériques. En 2019, 78 % des Tanzaniens adultes vivant dans des zones rurales avaient accès à des services financiers formels dans un rayon de 5 km.

En octobre 2019, les ministres africains chargés de la communication ont adopté la *Déclaration de Charm el-Sheikh*, qui propose une *Stratégie de transformation numérique pour l'Afrique*. Ils ont invité les États membres à ratifier la *Convention de l'Union africaine sur la cybersécurité et la protection des données à caractère personnel* (Convention de Malabo, 2014), qui appelle les pays à mettre en place un système financier sans numéraire pour favoriser les marchés numériques et lutter contre la corruption, ainsi qu'à élaborer des réglementations visant à protéger les données nationales[5]. Les ministres ont également engagé les États membres à adopter une position africaine commune sur l'IA et à créer un groupe de réflexion sur ce domaine, lequel serait chargé d'évaluer et de recommander des projets de collaboration conformes à l'*Agenda 2063* de l'Union africaine ainsi qu'aux *objectifs de développement durable* (voir le chapitre 18).

Cette stratégie numérique serait ambitieuse pour toutes les régions du monde, mais l'est d'autant plus pour l'Afrique, qui en est encore au stade de l'extension de la pénétration de l'Internet dans l'ensemble de la population. Entre 2015 et 2019, l'accès à l'Internet n'a progressé que de 0,24 %, pour atteindre 24,2 % de la population africaine (voir le chapitre 19). Malgré le développement des infrastructures de communication, de nombreux citoyens et entreprises du continent ne peuvent pas se payer l'accès à l'Internet, qui reste coûteux en raison d'une concurrence insuffisante sur le marché (voir le chapitre 20). Ainsi, en octobre 2020, peu de Malgaches avaient les moyens d'y accéder, bien que Madagascar dispose du deuxième service Internet à large bande fixe le plus rapide d'Afrique, après le Ghana, le pays s'étant raccordé au système de câble sous-marin d'Afrique de l'Est en 2010.

L'Inde illustre parfaitement les défis auxquels les pays sont confrontés pour moderniser leur économie et faire progresser leurs objectifs en matière de numérique, en parallèle, en condensant sur quelques années un processus normalement plus progressif. En 2018, au moment même où le Gouvernement indien élargissait l'accès des citoyens à un compte bancaire, un groupe de réflexion gouvernemental, l'Institution nationale pour la transformation de l'Inde (NITI Aayog), publiait une *Stratégie nationale pour l'intelligence artificielle* destinée à améliorer les soins de santé, l'éducation et les rendements agricoles. Cette stratégie entend également favoriser les villes, la mobilité et les transports intelligents. NITI Aayog envisage de déployer la technologie de la chaîne de blocs, déjà largement répandue au sein du Gouvernement, dans l'industrie pharmaceutique et celle des engrais, dans le secteur automobile pour les véhicules électriques et hybrides, et dans le domaine des énergies renouvelables.

En 2015, le Gouvernement indien a sélectionné une centaine de villes, rassemblant à elles toutes une population de 99,6 millions d'habitants, qui deviendront les premières villes intelligentes du pays. Il n'existe pas de définition universellement admise des villes intelligentes, bien qu'elles se multiplient partout dans le monde. Le concept indien combine des technologies numériques et durables pour assurer des services de distribution d'eau et d'assainissement, de fourniture d'électricité, d'éducation et de santé, ainsi que des logements sûrs et abordables et une mobilité urbaine efficace. Ces villes intelligentes risquent toutefois d'exacerber les inégalités sociales car, d'après le Ministère du logement et de la ville, 80 % du financement des villes intelligentes indiennes seront consacrés au développement par zone, qui profite uniquement à une partie de la population d'une ville (voir le chapitre 22).

Le risque que la double transition numérique et écologique accentue les inégalités sociales suscite de vives préoccupations, notamment la perspective de voir les emplois massivement déplacés. Dans le cas de la transition numérique, c'est l'automatisation qui cristallise les inquiétudes, et dans celui de la transition écologique, c'est la perspective d'abandonner progressivement de grandes industries polluantes, comme les centrales à charbon, qui sont de grosses pourvoyeuses d'emplois. Cela a poussé certains gouvernements à approuver l'implantation de nouvelles centrales à charbon, en sachant pertinemment qu'elles ne seront pas rentables.

La Commission européenne cherche à faire en sorte que les emplois perdus dans un secteur industriel donné au profit de l'économie numérique et verte puissent être recréés ailleurs. Le mécanisme pour une transition juste vise à limiter les turbulences subies par les États membres les

plus vulnérables grâce à des ressources adaptées. Il fait partie intégrante du *Plan d'investissement pour une Europe durable* du Pacte vert pour l'Europe, qui mobilise des investissements publics et privés pour un montant total cumulé d'au moins 1 000 milliards d'euros, et qui a été présenté par la Commission européenne en janvier 2020 (voir le chapitre 9).

Inquiétude face à l'automatisation

Jusqu'à présent, l'industrie 4.0 ne semble pas avoir entraîné de pertes d'emplois massives. En Amérique latine, la technologie financière et l'automatisation croissante commencent à orienter l'investissement vers les produits, processus et services basés sur l'innovation, mais aucun effet ne s'est encore fait sentir sur l'emploi. Prenons l'exemple du Mexique : en 2018, le pays se classait à la neuvième place mondiale en matière d'automatisation avec 5 700 robots industriels, dont près de la moitié étaient utilisés dans le secteur automobile. Un bon nombre de ces robots ont été importés des États-Unis, d'Europe et d'Asie par des constructeurs automobiles qui possèdent des usines de montage locales (voir le chapitre 7).

En Inde aussi, c'est le secteur de la fabrication qui utilise la plupart des robots importés[6]. Bien que leur nombre ait augmenté de 64 % par an en moyenne entre 2000 et 2016, ils ne représentent pas plus de 10 % de l'emploi total dans le secteur manufacturier. Toutefois, le développement rapide des technologies connexes pourrait déboucher sur l'automatisation de nombreuses tâches dans un avenir proche. Ce processus pourrait complètement transformer l'emploi en Inde et ailleurs (voir le chapitre 22).

Aux États-Unis, le déclin du secteur traditionnel de la fabrication est devenu une question sensible. En 2017, la production manufacturière était supérieure d'au moins 5 % à celle de 2000, mais le secteur est désormais plus fortement capitalisé et nécessite moins d'effectifs, en raison de l'introduction à grande échelle de l'automatisation. Environ 5,5 millions d'emplois du secteur de la fabrication ont disparu dans le pays entre 2000 et 2017 (voir le chapitre 5).

Cette baisse peut également s'expliquer par l'inadéquation des compétences des travailleurs américains avec un secteur manufacturier aujourd'hui plus sophistiqué. Les personnes qui ont un diplôme d'études secondaires ou moins et qui exécutent des tâches standardisées sont plus de quatre fois plus susceptibles d'occuper un emploi hautement automatisable que celles qui sont titulaires d'un baccalauréat. Douze millions de travailleurs d'origine hispanique et afro-américaine appartenant à cette catégorie ont déjà été remplacés par l'automatisation. Dans les décennies à venir, on estime qu'environ 25 % des emplois américains (36 millions en 2016) seront fortement menacés par celle-ci (voir le chapitre 5).

On observe en outre un phénomène relativement nouveau aux États-Unis : l'intelligence artificielle menace des emplois mieux rémunérés dans les domaines de la haute technologie et dans les zones métropolitaines. Cette tendance exigera une restructuration en profondeur des parcours professionnels et des programmes de formation (voir le chapitre 5).

L'énergie au cœur de la double transition

Les énergies renouvelables ont été le seul secteur de l'énergie à connaître une croissance pendant la pandémie de COVID-19, et la demande devrait encore augmenter. Les systèmes d'énergie renouvelable sont devenus plus rentables que les autres sources d'énergie, grâce aux progrès des technologies éoliennes et solaires, en particulier (voir le chapitre 2).

L'énergie est au cœur des transitions numérique et écologique. En Afrique subsaharienne, seulement la moitié (48 %) de la population a actuellement accès à l'électricité, d'après l'Agence internationale de l'énergie. Les gouvernements ont bien conscience qu'il ne peut y avoir ni industrialisation ni économie numérique sans accès universel à l'énergie. La stratégie *Agenda 2063* de l'Union africaine accorde un degré de priorité élevé à l'investissement dans les énergies renouvelables, en complément de l'extension du réseau de distribution de l'électricité.

En 2015, la Communauté de développement de l'Afrique australe (SADC) a ouvert un centre pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique en Namibie, afin d'améliorer l'accès à l'électricité dans la sous-région. Entre 2015 et 2018, la part globale des énergies renouvelables dans la capacité de production d'électricité de l'Afrique australe est passée de 24 % à 39 %. La plupart des projets concernent les énergies éolienne, solaire et hydraulique (voir le chapitre 20).

En Afrique de l'Est, la géothermie alimente aujourd'hui plus de 35 % des foyers kenyans. En novembre 2019, le pays a dépassé l'Islande pour se classer à la huitième place mondiale en matière de capacité de production d'énergie géothermique. Le développement de cette technologie s'est accéléré depuis le lancement de la *Vision 2030* du Kenya, en 2008, qui met l'accent sur les énergies renouvelables.

Dans les États insulaires des Caraïbes et du Pacifique Sud, les énergies renouvelables sont considérées comme un moyen de réduire les coûteuses importations de combustibles fossiles et de renforcer l'indépendance énergétique. Six pays insulaires du Pacifique se sont fixé pour objectif de produire 100 % de leur électricité à partir de sources d'énergie renouvelable d'ici dix ans (voir le chapitre 26). Cinq pays des Caraïbes ont lancé un projet visant à exploiter leurs vastes réserves géothermiques, avec l'aide du Fonds vert pour le climat (voir le chapitre 6).

Un certain nombre de pays abandonnent des projets de centrales hydroélectriques en raison de l'irrégularité des précipitations (par exemple, Sri Lanka et la Zambie) ou pour des questions de sûreté. À la suite d'un rapport de l'Agence nationale brésilienne de l'eau et de l'assainissement publié en 2018, selon lequel 45 barrages présentaient des risques élevés de défaillance, le Gouvernement a annoncé la fin des projets de mégacentrales hydroélectriques en Amazonie (voir le chapitre 8). En revanche, une mégacentrale hydroélectrique devrait voir le jour en République démocratique du Congo (voir le chapitre 20).

Les projets de développement des énergies renouvelables se multiplient dans le monde entier. En 2018, environ 16 % de

la production d'électricité provenait de l'énergie hydraulique, et 10 % de l'énergie solaire, de l'énergie éolienne, des biocarburants et de la biomasse. Cependant, de nombreux pays continuent d'importer des technologies prêtes à l'emploi plutôt que de les adapter ou de développer leurs propres solutions.

Les processus d'industrialisation et de développement des infrastructures, d'une part, et de recherche-développement, d'autre part, sont souvent indépendants l'un de l'autre, alors qu'ils devraient se renforcer mutuellement (voir le chapitre 21). Toutefois, de plus en plus de pays les associent. La politique iranienne relative aux exigences en matière de contenu local (2016) a introduit une clause qui impose aux accords internationaux et aux grands projets nationaux d'« inclure les technologies et la formation locales ». La *Vision 2030* de l'Arabie saoudite fixe quant à elle l'objectif de fabriquer localement 50 % du matériel militaire qu'elle importe à l'horizon 2030. En Équateur, des chercheurs se sont spécialisés dans les réseaux de distribution d'électricité intelligents après qu'une série de pannes d'électricité survenue en 2009 a poussé le Gouvernement à privilégier l'investissement dans les infrastructures énergétiques et dans la transition vers les énergies renouvelables (voir les chapitres 2 et 7). Le Bhoutan prévoit de créer dix laboratoires de fabrication dans l'ensemble du pays d'ici à 2023 ; un programme pilote « Fab4Fab » étudie comment produire localement les éléments nécessaires aux laboratoires de fabrication dans l'optique de remplacer les importations (voir le chapitre 21).

L'un des défis en matière de politiques sera de faire en sorte que le programme de développement durable des pays soit mis en œuvre dans plusieurs secteurs économiques. Par exemple, les industries vertes ne figurent pas parmi les secteurs prioritaires de la *Politique industrielle d'État* de la Mongolie (2015), malgré l'importance accordée au développement de l'énergie éolienne et solaire dans sa *Politique d'État sur l'énergie 2015-2030* (2015) et l'objectif, énoncé dans sa *Politique de développement vert* (2014-2030) d'atteindre 30 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale à l'horizon 2030 [voir le chapitre 14].

Introduction… et abandon de l'énergie nucléaire

Les centrales nucléaires coûtent des milliards de dollars à construire, pour une durée de vie d'une quarantaine d'années. D'ici à 2025, un quart du parc nucléaire actuel devra probablement être fermé (voir le chapitre 2). Plusieurs pays en développement prévoient d'implanter des centrales nucléaires, notamment l'Égypte et les Émirats arabes unis (chapitre 17), la Mongolie (chapitre 14) et la Zambie (chapitre 20).

La République de Corée, de son côté, développe des technologies énergétiques utilisant l'hydrogène pour compenser l'abandon progressif du nucléaire, conformément à son *troisième Plan directeur de l'énergie* pour 2019-2040. Cependant, le fait qu'elle figure parmi les principaux fabricants de réacteurs nucléaires soulève la crainte que l'abandon progressif du nucléaire érode sa compétitivité à l'échelle mondiale. En outre, des investissements considérables devront être consentis dans les infrastructures pour réaliser l'objectif d'atteindre une part de 20 % d'énergies renouvelables d'ici à 2020, puisque ces dernières ne représentaient qu'environ 5 % de l'approvisionnement en énergie primaire en 2017. L'une des stratégies consiste à aider les agriculteurs à convertir les zones dégradées en fermes solaires (voir le chapitre 25).

Au Japon, le développement des piles à hydrogène fait également partie des priorités des *Orientations à long terme en matière d'offre et de demande d'énergie* (2015). Au lendemain du grand tremblement de terre survenu dans l'est du pays en 2011, les centrales nucléaires japonaises ont été contraintes de fermer de manière à permettre des inspections et des mises à niveau entre 2013 et 2015. Pour compenser la perte d'énergie nucléaire, le Japon a accru sa dépendance à l'égard des importations de pétrole, de gaz et de charbon. L'installation de systèmes solaires a été ralentie par le prix élevé de l'électricité, qui a pesé sur l'industrie. Cette situation a entraîné, en 2018, une baisse du prix fixe payé par les consommateurs pour l'énergie solaire et éolienne ainsi qu'une libéralisation du marché de détail.

Le fait que le Japon (voir le chapitre 24) comme l'Ukraine (voir le chapitre 12) implantent des centrales solaires sur les sites des pires catastrophes nucléaires que le monde a connues, Fukushima (2011) et Tchernobyl (1986), est révélateur.

La transition énergétique rencontre des résistances

Les pays en développement coopèrent avec des partenaires internationaux pour avoir accès au financement vert. Par exemple, les tarifs de rachat et le système de vente aux enchères d'énergie solaire en vigueur au Kazakhstan ont été mis en place au titre du Cadre national pour les énergies renouvelables, un projet cofinancé depuis 2017 par la Banque européenne pour la reconstruction et le développement et le Fonds vert pour le climat. Pour les pays en développement, l'un des enjeux sera de concilier les demandes concurrentes d'innovation émanant du secteur minier, qui constitue souvent le socle de leur économie (voir le chapitre 14).

De plus en plus de pays en développement puisent dans les revenus issus de l'exploitation minière et de la prospection pétrolière et gazière pour financer leur transition écologique. En 2019, le Guyana a profité de la découverte de réserves de pétrole et de gaz en mer pour créer un fonds souverain, qui est alimenté par les revenus pétroliers et vise à financer la transition vers les énergies renouvelables (voir le chapitre 6). Au Sénégal, le Fonds souverain d'investissements stratégiques (créé en 2012) utilise les revenus pétroliers et gaziers de l'État pour investir dans des fonds de capitaux à destination des PME de secteurs définis comme prioritaires dans le *Plan Sénégal émergent* (2014), comme l'énergie solaire, l'agriculture et la santé (voir le chapitre 18). En Mongolie, la *Politique de développement vert* (2014-2030) prévoit de contrebalancer le développement des industries minières et métallurgiques par la création, entre autres, d'un fonds souverain alimenté

par les recettes du secteur minier et destiné à financer le développement durable à long terme (voir le chapitre 14).

Dans les pays industrialisés, le processus de transition progressive vers les énergies renouvelables se heurte à une certaine résistance de la part des partisans des énergies traditionnelles. Par exemple, au cours des quatre années (2016-2019) qui ont suivi l'adoption de *l'Accord de Paris,* 35 banques du Canada, de la Chine, d'Europe, du Japon et des États-Unis ont investi à elles toutes 2 700 milliards de dollars dans les combustibles fossiles (voir le chapitre 2).

Toutefois, il y a du changement dans l'air. En 2017, l'Irlande est devenue le premier pays du monde à s'engager à désinvestir totalement les fonds publics des combustibles fossiles, lorsque son Parlement a adopté une loi visant à supprimer les investissements dans le charbon, le pétrole et le gaz du Fonds d'investissement stratégique irlandais, doté de 8 milliards d'euros (environ 9,5 milliards de dollars des États-Unis) [voir le chapitre 2].

En 2019, le Parlement norvégien a lui aussi adopté une loi qui oblige le Fonds souverain norvégien – le plus important au monde, avec un budget de plus de 1 000 milliards de dollars des États-Unis – à annuler des investissements d'un montant total de 13 milliards de dollars des États-Unis dans huit sociétés charbonnières et environ 150 producteurs de pétrole (voir le chapitre 11).

Des gouvernements plus sensibles à un développement respectueux du climat

Les gouvernements sont désormais plus sensibles à la nécessité de mettre en place des politiques de développement respectueuses du climat. Le Mozambique investit dans des infrastructures résilientes au climat, par exemple, et la Zambie a adopté un *Plan d'investissement en faveur de l'agriculture intelligente face au climat* (voir le chapitre 20).

En 2021, Djibouti prévoit d'inaugurer son Observatoire régional du changement planétaire. Ce centre, auquel l'Agence internationale de l'énergie atomique a fourni du matériel scientifique sophistiqué, étudiera les effets du changement climatique sur les écosystèmes fragiles de l'Afrique de l'Est, ainsi que les nouvelles maladies telles que la chikungunya et la COVID-19 (voir le chapitre 19).

En 2017, le Cambodge a indiqué avoir atteint son objectif de consacrer 1 % des dépenses publiques à la lutte contre le changement climatique, conformément à son *Plan stratégique de lutte contre le changement climatique 2014-2023*. Ces progrès sont toutefois entravés par un manque de données et de technologies et par un accès limité au financement pour les entreprises qui souhaitent réaliser des investissements intelligents sur le plan climatique (voir le chapitre 26).

Dans les Caraïbes, une série d'ouragans dévastateurs a fait ressortir la nécessité de reconstruire des infrastructures plus résilientes. Il faudra pour ce faire accroître les dépenses d'investissement, ce qui alourdira la charge fiscale des membres de la CARICOM, dont certains accusent déjà une dette publique figurant parmi les plus élevées au monde par rapport à la taille de leur économie. Une « coalition des volontaires » a été créée en 2018 pour mettre sur pied le programme d'accélérateur caribéen intelligent face au climat, qui a l'objectif ambitieux de faire des Caraïbes la première région adaptée au changement climatique du monde. Plus de 26 pays et 40 partenaires des secteurs privé et public ont rejoint cet accélérateur, parmi lesquels l'Organisation des États des Caraïbes orientales, la Banque interaméricaine de développement et la Banque mondiale (voir le chapitre 6).

Le secteur du captage et du stockage du carbone en est encore à ses balbutiements, bien qu'il soit considéré comme essentiel pour limiter le réchauffement de la planète. En Norvège, Equinor met au point ce qui pourrait devenir le premier projet industriel de captage et de stockage du carbone en Europe (voir le chapitre 11).

Dans les systèmes de gouvernance fédéraux, on observe généralement des disparités entre les politiques fédérales et celles des États, ce qui empêche la mise en place d'une stratégie nationale globale d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à ce dernier. C'est notamment le cas au Canada, aux États-Unis et en Australie (voir les chapitres 4, 5 et 26).

La recherche sur la durabilité reste marginale

De tous les objectifs de développement durable liés à la croissance économique, ce sont ceux axés sur l'industrie, l'innovation et l'infrastructure (ODD 9) et sur les villes et communautés durables (ODD 11) qui ont reçu le plus d'aide publique au développement entre 2000 et 2013, les contributions des donateurs ayant respectivement atteint 130 et 147 milliards de dollars des États-Unis (voir le chapitre 2).

Les sujets de recherche en rapport avec la durabilité environnementale, qui sont en adéquation avec les ODD relatifs à la consommation responsable (ODD 12), à l'action pour le climat (ODD 13), à la vie aquatique (ODD 14) et à la vie terrestre (ODD 15), ont moins retenu l'intérêt des donateurs pendant cette même période, avec un financement total cumulé de moins de 25 milliards de dollars des États-Unis (voir e chapitre 2).

Cette répartition des fonds se reflète dans les résultats obtenus. En moyenne, les progrès nationaux accomplis au niveau mondial ont été les plus faibles pour les ODD environnementaux essentiels qui concernent l'action pour le climat (ODD 13), la vie aquatique (ODD 14) et la vie terrestre (ODD 15) [voir le chapitre 2].

Une analyse réalisée par l'UNESCO sur 56 sujets de recherche d'une grande pertinence pour les Objectifs de développement durable a abouti à une conclusion similaire (figure 1.7 ; voir le chapitre 2). Elle a en effet révélé que la recherche sur la durabilité n'est pas encore très répandue dans les publications académiques au niveau mondial. Par exemple, la recherche sur les cultures adaptées au changement climatique n'a représenté que 0,02 % de la production scientifique mondiale entre 2011 et 2019.

Les thèmes liés à l'industrie, à l'innovation et à l'infrastructure (ODD 9) ont eu plus de succès. Près d'un tiers (59) des 193 pays étudiés ont au moins doublé leur production scientifique relative à l'amélioration de l'efficacité des batteries entre 2011 et 2019. Une augmentation équivalente a été constatée pour les réseaux de distribution

d'électricité intelligents (55 pays) et les transports durables tels que les véhicules électriques et hybrides (50) [voir le chapitre 2].

Il convient de noter que la Chine a accru sa production scientifique de plus de 20 % pour les publications consacrées à l'amélioration de l'efficacité des batteries (53 % du total mondial), à l'énergie de l'hydrogène (43 %) et à la tarification du carbone (41 %) [voir le chapitre 2]. En outre, le pays est en passe de devenir le leader mondial dans le domaine du captage et du stockage du carbone, car sa production scientifique sur ce sujet a augmenté quand celle de six autres pays leaders dans ce domaine a diminué, à savoir le Canada, la France, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Norvège et les États-Unis (voir le chapitre 2).

En dépit de la priorité accordée à la transition énergétique mondiale, les publications consacrées à neuf sujets liés à l'énergie durable (ODD 7), notamment à des technologies de combustion plus propres des combustibles fossiles et aux énergies éolienne et solaire, ne représentaient encore que 2,4 % de la production scientifique mondiale en 2016-2019, contre 2,1 % en 2012-2015.

Les thèmes liés à la durabilité occupent une place beaucoup plus importante dans la production scientifique des petits systèmes scientifiques en développement. En effet, c'est là que leur essor a été le plus net entre 2011 et 2019, notamment en Équateur, en Indonésie et en Iraq (figure 1.7). Généralement, ces pays sont également en première ligne face au changement climatique et dépendent des exportations de matières premières. Depuis 2011, la part des publications scientifiques sur le photovoltaïque émanant des pays à revenu intermédiaire inférieur est passée de 6,2 % à 21,2 %, et celle des publications sur les biocarburants et la biomasse de 7,6 % à 21,6 %. Au cours de la même période, la part mondiale des pays à faible revenu dans les publications sur le photovoltaïque est passée de 0,2 % à 1,4 % (voir le chapitre 2).

TENDANCES EN MATIÈRE DE POLITIQUES

Une réorientation vers le bien-être

Dès 1729, le code juridique du Bhoutan affirmait que « la raison d'être du Gouvernement est de garantir le bonheur de son peuple ». Le Bhoutan n'a eu aucune difficulté à adapter ses politiques aux ODD, puisque sa philosophie du bonheur national brut repose sur quatre piliers qui reflètent ce programme : un développement socioéconomique durable et équitable ; la préservation et la promotion de la culture ; la conservation, l'utilisation durable et la gestion de l'environnement ; et la promotion de la bonne gouvernance. Dans le *12e Plan quinquennal* (2018-2023) du Gouvernement, ces quatre piliers ont été traduits en 16 grands domaines de résultats nationaux étroitement liés aux ODD (voir le chapitre 21)7.

L'adoption des ODD a conduit un plus grand nombre de pays à élargir la portée des indicateurs de bien-être au-delà du revenu et du PIB, sur lesquels ils se concentrent généralement. Le *Cadre relatif aux conditions de vie* adopté par le Trésor de la Nouvelle-Zélande, en 2015, propose une nouvelle méthode d'évaluation du bien-être inspirée du document *Comment va la vie ?* publié par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Il érige le « bien-être intergénérationnel durable » au rang d'objectif clé de la formulation de politiques et de la gestion des ressources naturelles (voir le chapitre 26).

Le *Plan national de développement 2017-2021 : Toda una Vida* (Une vie entière) de l'Équateur établit une feuille de route pour « humaniser les indicateurs et améliorer les conditions de vie des groupes vulnérables en tant que politique d'État ». Ses huit objectifs sont alignés sur les ODD, mais 60 % de l'investissement total est destiné à « garantir une vie décente et l'égalité des chances pour tous » (voir le chapitre 7).

L'*Examen national volontaire* (2015) de la Bolivie relatif à ses progrès dans la mise en œuvre des ODD a défini le concept de « bien vivir » (bien vivre) comme « l'alternative civilisationnelle et culturelle au capitalisme, associée à une vision globale […] en harmonie avec la nature [pour une] solution structurelle à la crise climatique mondiale ». Ce rapport a fixé l'objectif de faire passer la part des sources d'énergie alternatives dans la capacité totale de production d'électricité de 2 % en 2010 à 9 % d'ici à 2030 (voir le chapitre 7).

Le *Plan d'action stratégique 2017-2019* de l'Islande insiste sur l'importance de la R-D pour garantir une « croissance de qualité » au cours de la quatrième révolution industrielle, par opposition à une « croissance purement économique », en tenant compte des effets négatifs éventuels des technologies sur les futurs utilisateurs. Il repose sur le concept d'évaluation des technologies, bien qu'il ne le mentionne pas expressément.

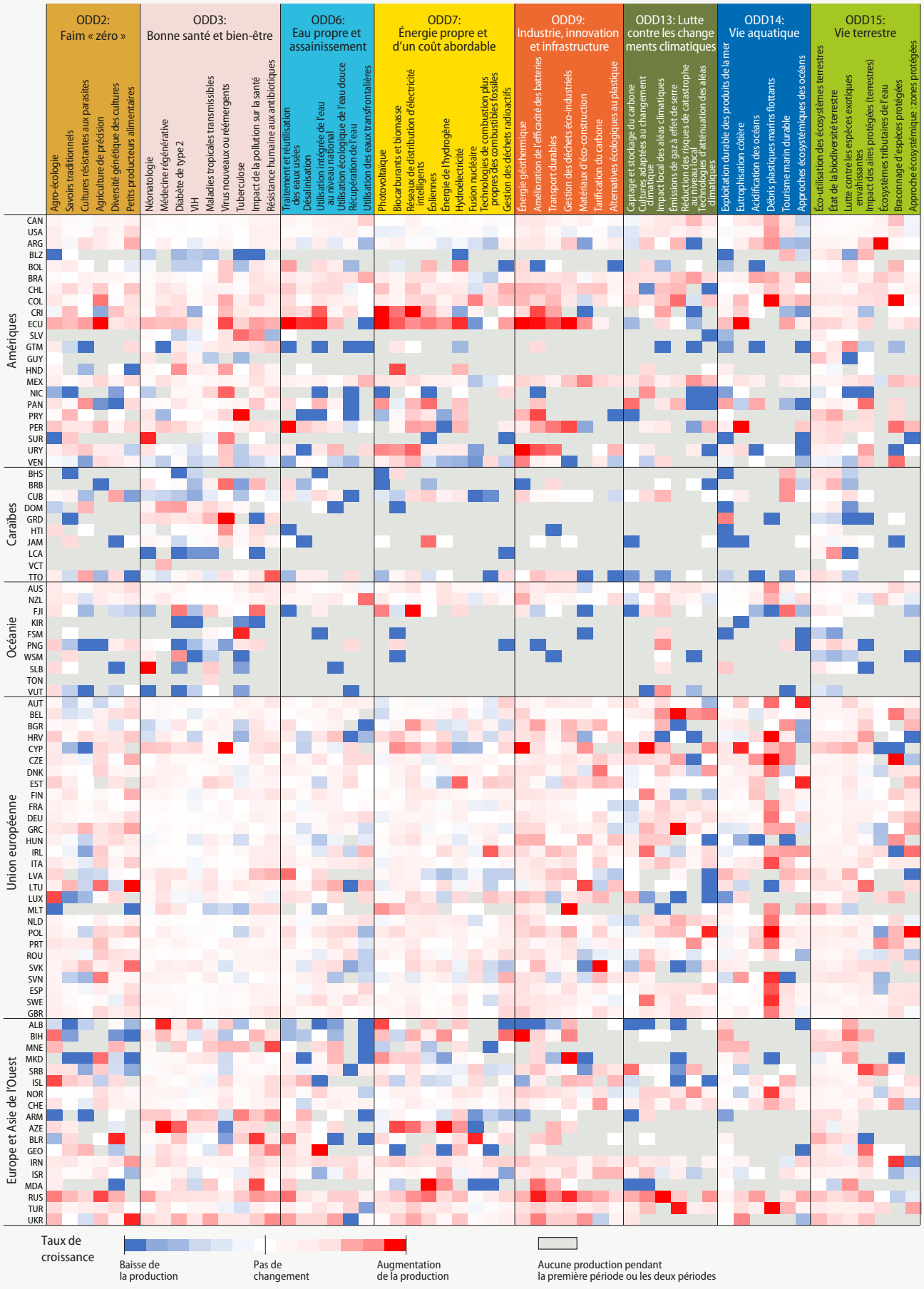
Le *Plan d'action stratégique 2017-2019* de l'Islande invite les citoyens à davantage participer à l'élaboration des politiques, à l'innovation et à la recherche. D'après un rapport d'étape sur l'état d'avancement de la mise en œuvre de cette politique publié fin 2019, l'organisation de consultations publiques a permis de rapprocher les priorités de la recherche des besoins des Islandais. Ces consultations ont révélé que la situation environnementale est leur principal sujet de préoccupation.

Accroître l'autonomie régionale grâce à la spécialisation intelligente

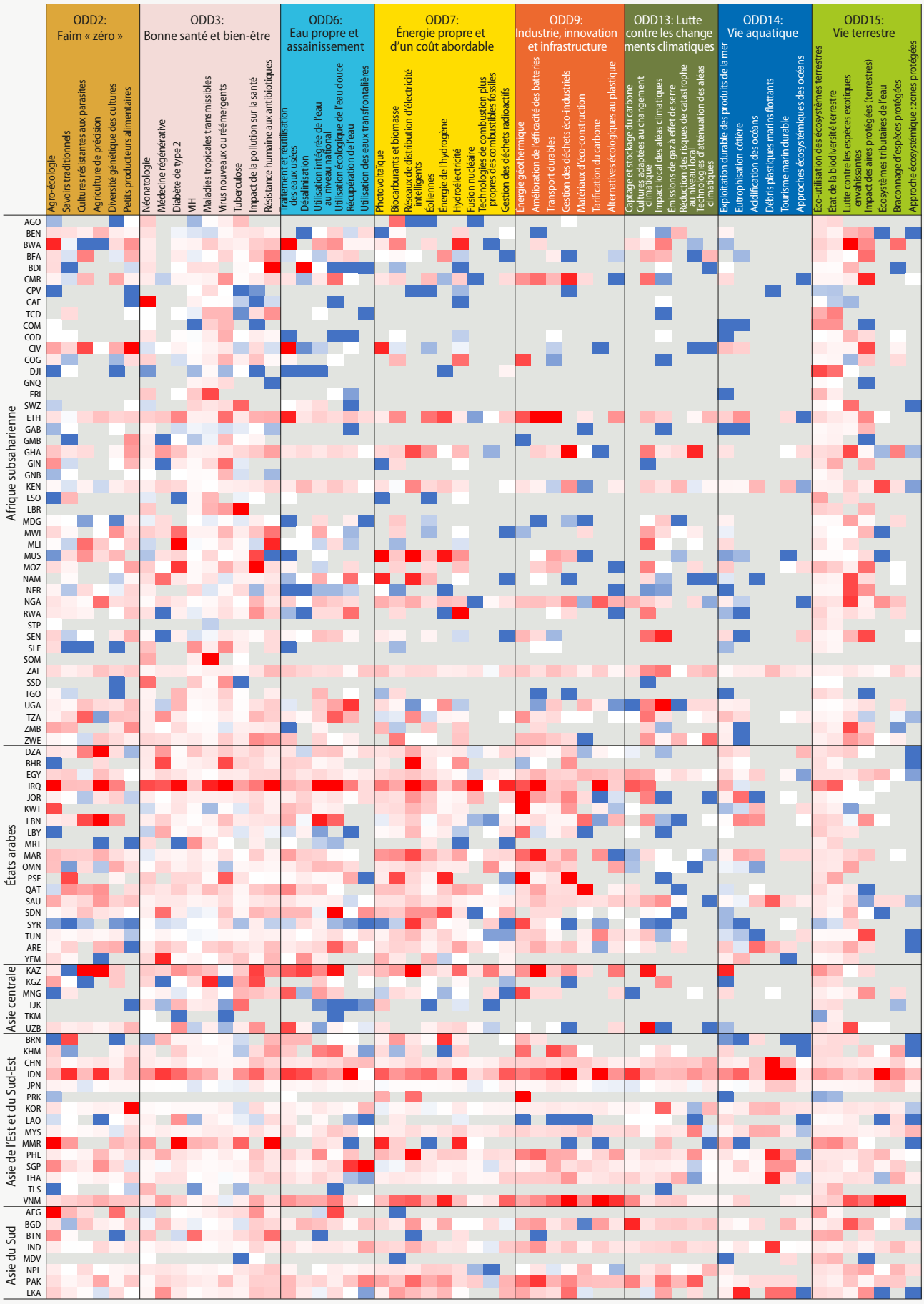
L'un des défis que l'ensemble des pays auront à relever sera de faire en sorte que la croissance économique nationale profite à toutes les régions. La recherche et l'innovation se concentrent en général dans les agglomérations, mais l'approche territoriale de l'innovation, ou spécialisation intelligente, suscite un intérêt croissant pour renforcer l'autonomie des régions.

Dans l'Union européenne, la réception de crédits du Fonds européen de développement régional en 2014-2020 était subordonnée à l'élaboration par les pays membres de stratégies de spécialisation intelligente pour leurs régions, le choix des technologies revenant aux entrepreneurs locaux. Les régions dotées d'une spécialisation similaire coopèrent dans le cadre de plates-formes thématiques dédiées à la modernisation industrielle, à l'énergie et à l'agroalimentaire. Les régions ont très majoritairement choisi l'énergie durable parmi les domaines couverts par leur stratégie de spécialisation intelligente.

Figure 1.7 : **Carte de chaleur indiquant l'évolution des publications scientifiques sur 56 thèmes liés aux objectifs de développement durable, 2012-2019**



Remarque : Le taux de croissance est calculé en divisant le nombre de publications de 2016-2019 par le nombre de publications de 2012-2015. Pour les codes de pays, voir la page www.iso.org/iso-3166-country-codes.html. Les pays de moins de 120 000 habitants ne sont pas indiqués. Toutes les données sont accessibles gratuitement sur le portail Internet du *Rapport de l'UNESCO sur la science.*



Source : Scopus (Elsevier), y compris lettres, sciences humaines et sciences sociales ; traitement des données par Science-Metrix.

En collaboration avec la Commission européenne, les pays de l'Europe du Sud-Est travaillent à l'élaboration de leur stratégie nationale de spécialisation intelligente, qui constitue un prérequis pour entrer dans l'UE (voir le chapitre 10). La Commission coopère aussi avec les Nations Unies pour intégrer ce concept dans la mise en œuvre des Objectifs de développement durable (voir le chapitre 9).

Le renforcement de l'autonomie régionale figure également parmi les priorités de la République de Corée, qui est un État fortement centralisé. En 2017, chaque province a été invitée à créer des pôles de spécialisation sur ses propres objectifs prioritaires, dans le cadre du *quatrième Plan national pour le développement régional de la science et de la technologie 2013-2017*. La mise en place de ces pôles a été favorisée par le transfert d'institutions publiques vers les provinces, notamment des entreprises publiques et des instituts de recherche soutenus par l'État.

Le Panama a lui aussi adopté une approche de spécialisation intelligente pour définir des programmes d'innovation territoriaux au titre de son *Plan stratégique 2019-2024*. Il est important de noter que ce plan propose également de doubler les dépenses intérieures brutes en recherche et développement (DIRD) pour atteindre 0,33 % du PIB à l'horizon 2024.

La Fédération de Russie décentralise la recherche dans certaines régions afin de créer une « nouvelle géographie de la science russe ». L'objectif est d'établir des centres de recherche et d'enseignement de classe internationale dans des régions déterminées, pour développer de nouvelles technologies et de nouveaux produits compétitifs et former des professionnels en fonction du profil de spécialisation intelligente de chaque région. Ces centres seront organisés en consortiums regroupant des instituts de recherche et des universités de premier plan, en collaboration avec les entreprises intéressées (voir le chapitre 13).

Politiques axées sur la réalisation de missions : un nouvel objectif pour l'Europe

L'Amérique latine a été la première à adopter des politiques axées sur la réalisation de missions. Celles-ci sont apparues sous la forme de fonds sectoriels au Brésil il y a 20 ans, et ont ensuite été reprises par d'autres pays de la région, dont l'Argentine, la Colombie, le Mexique et l'Uruguay. Les fonds sectoriels sont une source essentielle de financements publics pour la recherche dans des secteurs stratégiques tels que l'agriculture, l'énergie, l'environnement, le développement de logiciels et la santé. La recherche menée dans ces domaines cibles est alimentée par des taxes publiques prélevées sur des secteurs précis de l'industrie ou des services, par exemple auprès des entreprises de services énergétiques ou des casinos. En 2020, le Gouvernement mexicain a décidé de supprimer ses fonds sectoriels dans le contexte d'une réduction des ressources allouées à la promotion de l'innovation dans les entreprises (voir le chapitre 7).

En 2020, l'Union européenne a adopté sa propre forme de politiques axées sur la réalisation de missions. Son programme-cadre septennal pour la recherche et l'innovation jusqu'à 2027, baptisé Horizon Europe, définit cinq missions concrètes, chacune assortie d'objectifs précis : adaptation au changement climatique, y compris les transformations sociétales ; lutte contre le cancer ; villes intelligentes et neutres sur le plan climatique ; santé des océans, des mers et des eaux côtières et intérieures ; sols, santé et alimentation. L'un des objectifs est d'atteindre le nombre de 100 villes neutres sur le plan climatique au sein de l'UE d'ici à 2030, mission qui nécessitera d'innover dans tous les secteurs, notamment en combinant nouvelles solutions de transport, gestion numérique et véhicules électriques (voir le chapitre 9).

La *Stratégie russe pour le développement de la science et de la technologie à l'horizon 2035* (2016) a quant à elle été présentée comme un nouveau modèle de politique nationale. Elle fixe sept priorités axées sur la réalisation de missions : fabrication numérique ; énergies propres ; médecine personnalisée ; agriculture durable ; sécurité nationale ; infrastructures de transport et de télécommunications ; et préparation de l'avenir (voir le chapitre 13).

TENDANCES EN MATIÈRE DE DÉPENSES DE RECHERCHE

La science est devenue synonyme de modernité

Ces cinq dernières années, la science, la technologie et l'innovation sont devenues synonymes de compétitivité économique et de modernité, incitant les pays en développement à diversifier leurs économies et à les tourner davantage vers le savoir.

L'exemple le plus frappant de cette tendance est peut-être le programme spatial des Émirats arabes unis, qui ont lancé la sonde Hope vers Mars en juillet 2020, six ans à peine après la création de l'agence spatiale nationale. Le pays n'étant pas encore doté de capacités de lancement de fusées, il s'est associé aux leaders des technologies spatiales pour mener à bien son programme, notamment avec des entreprises de la République de Corée et du Japon. La sonde Hope a été conçue et fabriquée dans le cadre d'un partenariat entre le Centre spatial Mohammed ben Rachid et le Laboratoire de physique atmosphérique et spatiale des États-Unis (voir le chapitre 17).

Les Émirats arabes unis ont presque doublé leur intensité de recherche entre 2014 et 2018, pour atteindre 1,30 % du PIB (figure 1.2). Le pays représente aujourd'hui 0,42 % des dépenses mondiales de recherche. Au cours de la même période, le nombre de chercheurs en équivalent temps plein a bondi de 20 % pour s'établir à 2 379 par million d'habitants (figure 1.3), ce qui est nettement supérieur à la moyenne mondiale (1 368). La chercheuse principale pour le projet Hope est Sarah al-Amiri, 33 ans, et l'âge moyen du personnel scientifique et technique du Centre spatial Mohammed ben Rachid est de 27 ans. La part des publications des Émirats arabes unis sur la physique et l'astronomie rédigées avec des coauteurs internationaux est passée de 76 % à 80 % entre 2015 et 2019, ce qui s'inscrit dans la tendance mondiale à l'intensification de la collaboration scientifique internationale (figure 1.4).

L'investissement dans la recherche dépasse la croissance économique

Les Émirats arabes unis font partie des 32 pays qui ont contribué à l'augmentation des dépenses mondiales de recherche entre 2014 et 2018. Pendant cette période, ces dépenses (en milliards de dollars PPA, prix constants de 2005) ont progressé de 19,2 %, ce qui est supérieur à la croissance de l'économie mondiale (+ 14,8 %). Cela s'est traduit par une hausse de l'intensité de recherche, passée de 1,73 % à 1,79 % du PIB.

Près de la moitié (44 %) de cette augmentation est attribuable à la Chine (figure 1.8). Sans la Chine, la croissance mondiale des dépenses de recherche observée entre 2014 et 2018 (13,6 %) aurait tout de même dépassé la croissance économique (12 %), mais de façon beaucoup moins marquée.

La deuxième plus grosse contribution à l'augmentation des dépenses mondiales de recherche provient des États-Unis (19,4 %), suivis de l'Union européenne (11 %). La République de Corée (4,7 %) et l'Inde (3,8 %) ont également fourni des contributions considérables. Le Japon, en revanche, ne représente que 0,3 % de la croissance mondiale de la R-D.

La République de Corée a la deuxième plus forte intensité de recherche au niveau mondial, après Israël (figure 1.2). On estime que les investissements de la Corée dans la R-D ont contribué à environ 40 % du PIB national au cours de la période 2013-2017 (voir le chapitre 25).

Plusieurs pays de l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est (ASEAN) investissent plus qu'auparavant dans la R-D. La Malaisie est par exemple en passe d'atteindre son objectif de consacrer 2 % du PIB aux dépenses brutes en recherche et développement d'ici à 2020, et le Gouvernement indonésien a instauré une réduction fiscale de 300 % sur les dépenses de recherche des entreprises en 2019 (voir le chapitre 26).

Pour sa part, Singapour prévoit désormais des crédits « non affectés » flexibles pour les secteurs émergents ou les besoins et possibilités imprévus, au titre de son *Plan pour l'innovation, la recherche et les entreprises 2020* (2016). Ce système est inspiré de l'exemple du secteur de la cybersécurité, qui s'est développé pendant le cycle de financement 2011-2015 du Gouvernement. Ces fonds de réserve destinés à la recherche industrielle pourraient également être mobilisés en cas de pandémie (voir le chapitre 26).

Dans l'Union européenne, les pays qui font figure de chefs de file en matière d'innovation ont, en moyenne, une intensité de recherche avoisinant ou dépassant 3 % ; ils sont également les plus avancés dans leur transition vers des économies vertes et numériques. Le Danemark et l'Allemagne font depuis peu partie de ce groupe de pays. En revanche, vingt pays de l'UE n'ont pas atteint leurs objectifs pour 2020 en matière d'intensité de recherche (voir le chapitre 9).

Le poids de l'UE dans l'investissement dans la recherche est appelé à diminuer dans les années à venir. Ce déclin découlera non pas des politiques scientifiques, mais d'une réorganisation géopolitique : le départ du Royaume-Uni (Brexit) entraîne en effet une réduction de 12 % des dépenses de recherche de l'Union. L'intensité de recherche de ce pays étant plus faible (1,72 %) que la moyenne de l'UE, cet indicateur augmentera mécaniquement pour l'UE, pour passer de 2,03 % à 2,18 % du PIB (voir le chapitre 9).

En raison de la baisse généralisée du PIB constatée au début de la pandémie de COVID-19, la plupart des pays verront leur ratio DIRD/PIB gonfler artificiellement en 2020, même s'ils se contentent de maintenir les niveaux de dépenses de recherche actuels.

Les dépenses de recherche augmentent dans la plupart des régions

En 2018, 87 % des dépenses de recherche se concentraient dans trois régions : l'Asie de l'Est et du Sud-Est (40 %) – qui rassemble trois poids lourds, la Chine, le Japon et la République de Corée –, l'Amérique du Nord (27 %) et l'Union européenne (19 %) [figure 1.8]. En 2014, ce pourcentage était de 85 %.

Bien que les progrès observés aient été parfois modestes, les dépenses de recherche ont augmenté dans toutes les régions entre 2014 et 2018, sauf deux : l'Asie centrale et l'Amérique latine et les Caraïbes (figure 1.8).

Malgré la volonté affichée des gouvernements d'Asie centrale d'intensifier leur effort de recherche et l'investissement dans leur parc scientifique et technologique, leurs dépenses brutes en recherche et développement avaient plongé à moins de 0,15 % du PIB dans tous les pays en 2018.

En Amérique latine, la fin du boom des matières premières a inauguré une période de stagnation de la croissance économique, conjuguée à un déclin de l'intensité de recherche chez les poids lourds régionaux que sont l'Argentine et le Mexique (figure 1.2). Pendant ce « boom », les investissements ont été principalement orientés vers l'expansion économique, plutôt que vers le renforcement des infrastructures existantes ou le soutien de l'innovation et de la prise de risques.

Des progrès parfois fragiles

La part des pays à revenu intermédiaire inférieur dans les dépenses mondiales de recherche est passée de 0,13 % seulement à 4,3 %, et celle des pays à faible revenu a stagné à 0,10 %, bien que les dépenses de recherche aient augmenté dans les deux groupes de pays entre 2014 et 2018.

De surcroît, ces progrès sont parfois fragiles. En 2017, le Burkina Faso présentait l'une des intensités de recherche les plus élevées du continent africain (0,61 % du PIB), mais cela a été de courte durée ; à la suite d'une vague d'attentats terroristes survenue en 2019, le Gouvernement a été contraint d'affecter la plupart de ces crédits au renforcement de la sécurité nationale (voir le chapitre 18). L'Iran a consacré 0,83 % de son PIB à la R-D en 2017, et les banques et établissements de crédit du pays ont augmenté de 75 % les prêts accordés aux entreprises axées sur le savoir en 2019. Toutefois, le retrait des États-Unis du *Plan d'action global commun*, ou accord nucléaire, intervenu en 2018, et le retour des sanctions américaines qui s'en est suivi ont engendré des difficultés économiques qui risquent de compromettre cette tendance (voir le chapitre 15). À Cuba, le projet d'augmenter les salaires

des chercheurs a été retardé en raison du rétablissement des sanctions américaines en 2017, trois ans après leur levée (voir le chapitre 7).

La viabilité financière, un défi pour les start-ups africaines

La viabilité financière est un défi pour bon nombre des 744 pôles technologiques qu'abrite le continent africain. En effet, ceux-ci dépendent des subventions des partenaires de développement et des donateurs internationaux pour survivre, en l'absence quasi totale d'investisseurs providentiels locaux et de capitaux d'amorçage. Par exemple, près de 80 % des investissements réalisés dans les 101 pôles technologiques du Nigéria proviennent de sources étrangères. En 2019, le CcHub nigérian a acheté le iHub kenyan, constituant ainsi le premier « méga-incubateur » d'Afrique de l'Ouest. Depuis sa création en 2011, le CcHub a soutenu plus de 120 entreprises en phase de démarrage. S'il a opté pour un modèle commercial, en facturant l'espace de travail et en établissant son propre Fonds d'investissement pour la croissance – le premier fonds du Nigéria axé sur l'innovation sociale –, le modèle de l'iHub, financé par des donateurs, s'est finalement révélé non viable (voir le chapitre 18).

Le Startup Act (2018) de la Tunisie est prétendument le premier cadre juridique du monde à accorder aux entrepreneurs en herbe une année de congé financée par l'État pour monter une entreprise, cette opportunité étant ouverte aux employés des secteurs public et privé (voir le chapitre 17).

Dans le cadre du programme Éducation 5.0 du Zimbabwe (2018), les universités publiques sont encouragées à travailler avec les communautés et les start-ups pour résoudre les problèmes locaux. Le programme charge les universités de créer un fonds d'innovation et d'industrialisation, alimenté par les frais de scolarité et géré par du personnel non universitaire (voir le chapitre 20).

Des efforts pour renforcer les liens entre université et industrie

Les entreprises sont généralement peu enclines à collaborer avec les universités et les instituts de recherche publics. Telle est la conclusion d'une enquête menée en 2013 par l'Institut de statistique de l'UNESCO auprès d'entreprises manufacturières exerçant des activités dans le domaine de l'innovation dans 53 pays de tous niveaux de revenus[8]. Depuis, la situation a peu évolué. Une enquête de 2018 sur les tendances observées en Nouvelle-Zélande, qui faisait partie des pays étudiés en 2013, a révélé que seulement 1,5 % des publications scientifiques étaient corédigées par des auteurs issus du milieu universitaire et du monde des entreprises (voir le chapitre 26). Une autre étude portant sur le même sujet (voir le chapitre 8) a abouti à un chiffre similaire pour la Chine en ce qui concerne la période 2015-2017. Le ratio de copublication était plus élevé dans l'UE et au Brésil (2,4 %), aux États-Unis (2,8 %), en République de Corée (3,9 %), en Allemagne (4,4 %) et en France (4,5 %).

Au Canada, l'intensité de la recherche industrielle a diminué de 0,78 % à 0,63 % du PIB entre 2014 et 2019. Le Gouvernement canadien insiste auprès des entreprises nationales pour qu'elles nouent des partenariats avec des instituts de recherche publics, afin d'élaborer des stratégies d'innovation « audacieuses et ambitieuses ». En 2017, le

Encadré 1.1 : **Les lacunes de données nuisent au suivi des Objectifs de développement durable**

Les données disponibles sur les dépenses de recherche et les effectifs de chercheurs ne permettent pas de brosser un tableau complet de la situation, car seule une minorité de pays publie des données compatibles au niveau international.

Bien que les pays aient convenu, en 2015, de suivre les progrès accomplis à l'échelle nationale pour accroître l'intensité de recherche (indicateur ODD 9.5.1) et la densité de chercheurs (indicateur ODD 9.5.2) au titre de leur engagement à atteindre les objectifs de développement durable d'ici à 2030, leurs efforts n'ont pas entraîné d'augmentation de la communication de données.

Au contraire, 99 pays en tout ont communiqué des données sur l'investissement national dans la recherche en 2015, contre seulement 69 en 2018. De même, 59 pays ont dénombré leur effectif de chercheurs (en équivalent temps plein) en 2018, alors qu'ils étaient 90 à l'avoir fait en 2015*.

De 2015 à 2018, 107 pays seulement ont communiqué des données sur le nombre de chercheuses pour au moins l'une de ces quatre années. En outre, on ne dispose d'aucune donnée comparable sur le plan international pour des pays peuplés tels que le Bangladesh, le Brésil, la Chine, l'Inde, le Nigéria et les États-Unis.

Bien souvent, même les pays qui ont créé des observatoires dans le but d'améliorer la collecte et l'analyse des données n'étudient pas encore l'innovation dans le secteur privé, et ne disposent donc d'aucune information pour évaluer les atouts et les besoins non satisfaits de leur système d'innovation national.

La situation n'est pas meilleure en ce qui concerne les indicateurs d'ODD relatifs à l'environnement. Les progrès accomplis dans la mise en œuvre de 68 % de ces indicateurs ne peuvent être mesurés en raison de l'absence de données, d'après le rapport *Measuring Progress: towards Achieving the Environmental Dimension of the SDGs* (Mesurer les progrès accomplis dans la mise en œuvre du volet environnemental des ODD), publié par le Programme des Nations Unies pour l'environnement en 2019.

Ces lacunes de données devraient constituer une source de préoccupation, car la formulation et la révision des politiques doivent s'appuyer sur des données fiables collectées régulièrement. En effet, on ne peut pas suivre ce qu'on ne peut pas mesurer.

L'élaboration de politiques fondées sur des données probantes se heurte à un autre problème : l'absence de référence, dans de nombreux cadres politiques, aux succès ou échecs rencontrés par les stratégies antérieures. Cette omission donne à penser que les politiques ne mettent pas à profit les enseignements tirés des expériences passées.

Source : données compilées par les auteurs

*En 2018, 50 pays ont dénombré leur effectif de chercheurs (en personnes physiques), contre 97 en 2015.

Gouvernement a alloué 950 millions de dollars canadiens pour soutenir cinq « supergrappes d'innovation » au cours des cinq prochaines années, dispositif dans lequel le secteur privé est tenu d'investir autant que les pouvoirs publics. Ces supergrappes sont spécialisées dans la fabrication de pointe, l'économie des océans, les industries des protéines, la technologie numérique et l'intelligence artificielle. Les deux dernières d'entre elles – numérique et IA – ont investi dans la technologie pour trouver des solutions à la crise de la COVID-19 (voir le chapitre 4).

En 2018, l'Arménie a innové en lançant, au titre de son Programme de projets ciblés (créé en 2010), un appel limité aux projets de recherche associant institutions publiques et partenaires industriels, ces derniers devant prendre en charge au moins 15 % du financement du projet.

Aux Philippines, dans le cadre du Programme de recherche-développement collaboratif pour l'économie philippine (2016), un établissement d'enseignement supérieur ou un institut de recherche qui noue un partenariat de recherche avec au moins une entreprise reçoit des fonds publics d'un montant pouvant aller jusqu'à 5 millions de pesos philippins (100 000 dollars des États-Unis), la société partenaire contribuant au financement du projet à hauteur de 20 %.

En Asie du Sud, l'effort de développement des infrastructures et d'industrialisation déployé actuellement est le plus souvent indépendant des activités de recherche-développement, alors que ces processus pourraient se renforcer mutuellement. Plusieurs pays s'efforcent d'inciter les instituts de recherche publics à nouer des liens avec l'industrie (voir le chapitre 21).

Par exemple, le Fonds de soutien au transfert de technologies du Pakistan (2019) octroie des subventions à des laboratoires universitaires, qui reçoivent une contribution équivalente de leurs partenaires industriels (voir le chapitre 21).

À Sri Lanka, le transfert de technologies est l'une des priorités du *Cadre stratégique national pour le développement des PME* (2016), qui est assorti d'un fonds national pour le développement des technologies cofinancé par l'État et le secteur privé (voir le chapitre 21).

La *Politique pour les PME* (2019) du Bangladesh reconnaît quant à elle la nécessité d'améliorer l'accès des PME au financement, aux marchés, à la technologie et à l'innovation. Cette politique sera soutenue par le nouveau Conseil de la recherche en ingénierie du Bangladesh pour la commercialisation des résultats de la recherche et l'adaptation des technologies importées, créé par la loi en septembre 2020 à la suite de la *Politique scientifique et technologique nationale* (2011).

L'industrie spatiale donne lieu à des partenariats public-privé

L'industrie spatiale est de plus en plus en demande de partenariats public-privé. En 2019, l'investissement mondial dans l'économie spatiale a atteint un point culminant ; il provenait pour plus de la moitié (55 %) d'entreprises dont le siège est basé aux États-Unis. Venaient ensuite le Royaume-Uni (24 %), la France (7 %) et la Chine (5 %) [voir le chapitre 5]. En 2014, la valeur du marché africain de l'espace était estimée à 10 milliards de dollars des États-Unis (voir le chapitre 18).

L'industrie spatiale englobe des domaines tels que les télécommunications, la surveillance de l'environnement et celle des débris spatiaux (voir le chapitre 24). Le 3 janvier 2020, l'entreprise SpaceX est devenue la première société privée à envoyer des humains dans l'espace en acheminant des astronautes vers la Station spatiale internationale[9]. De plus en plus, l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace des États-Unis (NASA) délègue le développement de l'économie spatiale à des partenaires commerciaux, de façon à concentrer ses propres ressources sur l'exploration de l'espace lointain (voir le chapitre 5).

Le Japon est un acteur relativement nouveau sur le « marché de l'espace ». Les entreprises du secteur restent dépendantes des contrats publics pour plus de 80 % de leur chiffre d'affaires, mais les choses évoluent peu à peu. Le nouveau service de promotion des entreprises, créé en 2016 par l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale (JAXA), offre aux sociétés privées un accès au savoir-faire, à la propriété intellectuelle et aux installations de la JAXA en vue de concevoir de nouveaux produits. En retour, les applications commerciales mises au point par ces partenaires industriels donnent un nouveau souffle aux brevets et autres régimes de propriété intellectuelle de la JAXA.

Le secteur aéronautique prend également de l'ampleur dans certains pays en développement. Au Mexique, entre 2010 et 2016, les exportations de produits aéronautiques ont progressé de 14 % par an et le nombre d'entreprises du secteur est passé de 241 à 330. Depuis 2019, le pôle aéronautique de Querétaro accueille FAMEX, le plus grand salon aéronautique d'Amérique latine[10] (voir le chapitre 7).

La *Stratégie spatiale africaine* (2017) comprend quatre volets : observation de la Terre, systèmes de navigation et de positionnement, communications satellites et science et technologie spatiales. L'objectif final est de créer une Agence spatiale africaine basée en Égypte. L'Union africaine a signé un accord de coopération avec le programme Copernicus de l'Union européenne en 2018, premier pas vers le lancement du programme spatial africain en 2019 (voir le chapitre 19).

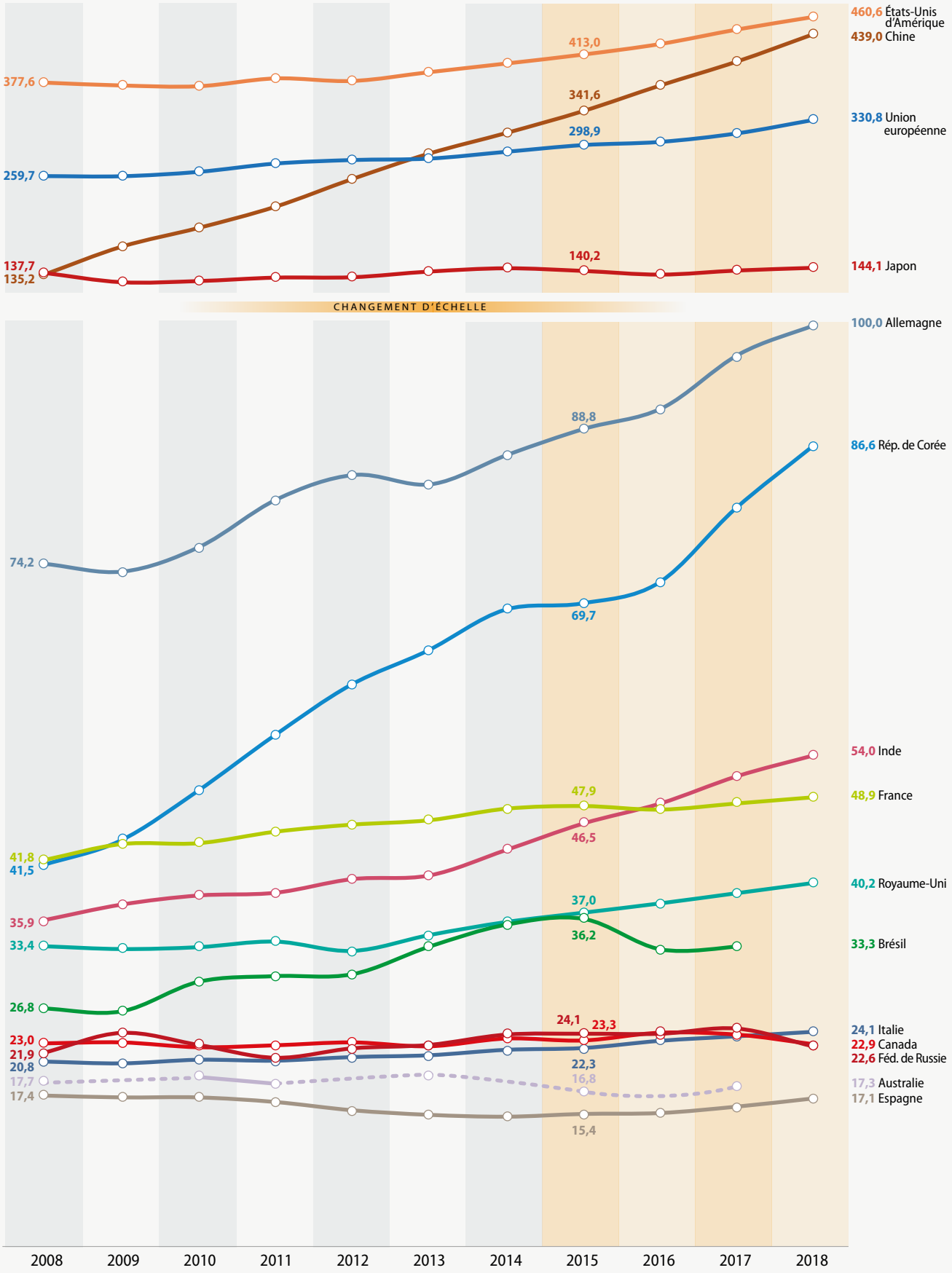
La militarisation de l'espace devient rapidement un problème de géopolitique et de sécurité non négligeable, qui vient compliquer les relations internationales. La Space Force, nouvelle branche des Forces armées des États-Unis dont la création a été annoncée en février 2019, sera intégrée au département de la Force aérienne. Plusieurs autres pays ont également indiqué avoir établi un commandement de l'espace, dont la Chine, la France et la Fédération de Russie (voir le chapitre 5).

Recherche fondamentale : une nouvelle division du travail

Deux leaders mondiaux de l'innovation, la Suisse (voir le chapitre 11) et les États-Unis (voir le chapitre 5), ont connu une évolution notable de la division classique du travail, selon laquelle la recherche fondamentale est menée et financée par le secteur public, tandis que la recherche

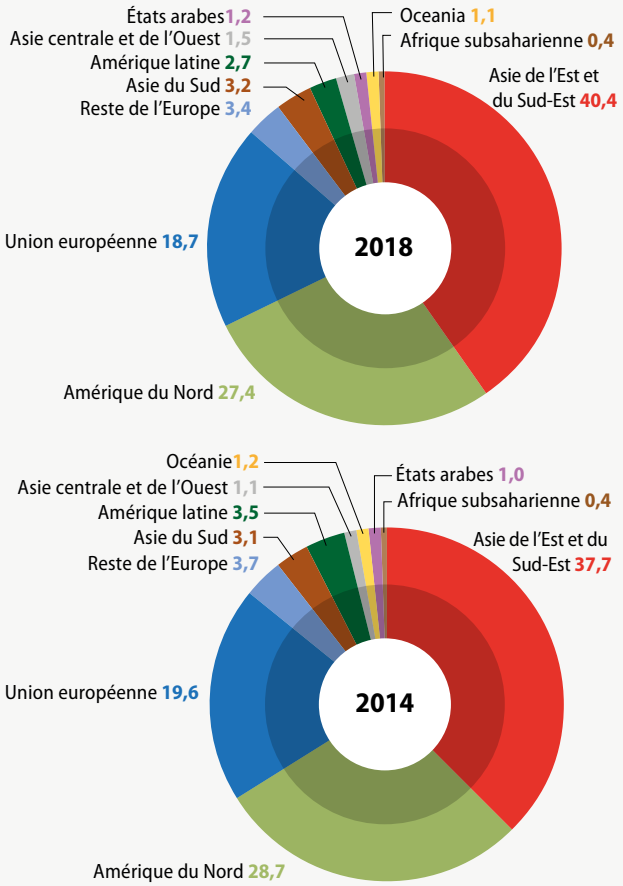
Figure 1.8 : **Tendances en matière de dépenses de recherche**

Liste des 15 premiers pays pour les dépenses intérieures brutes en R-D, 2008-2018
En milliards de dollars PPA (prix constants de 2005)



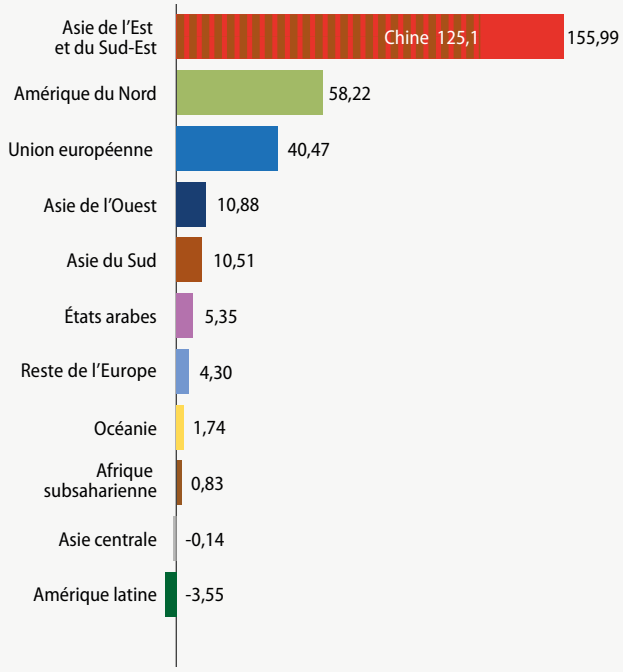
Remarque : L'Allemagne, la France, l'Italie, l'Espagne et le Royaume-Uni sont également pris en compte dans la valeur de l'Union européenne (UE).

Part mondiale des DIRD par région, 2014 et 2018 (%)



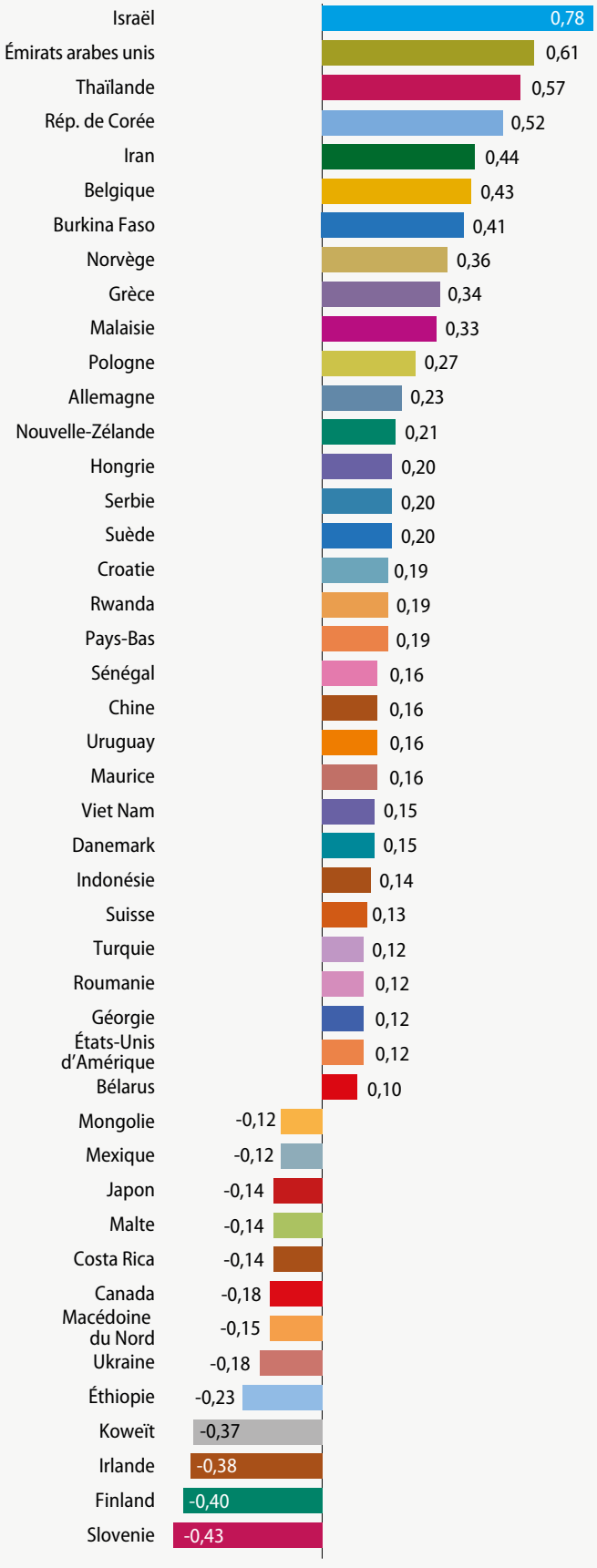
Évolution des dépenses de recherche par région, 2014-2018

En milliards de dollars PPA



Évolution des dépenses de recherche en part du PIB, 2014 et 2018 (%)

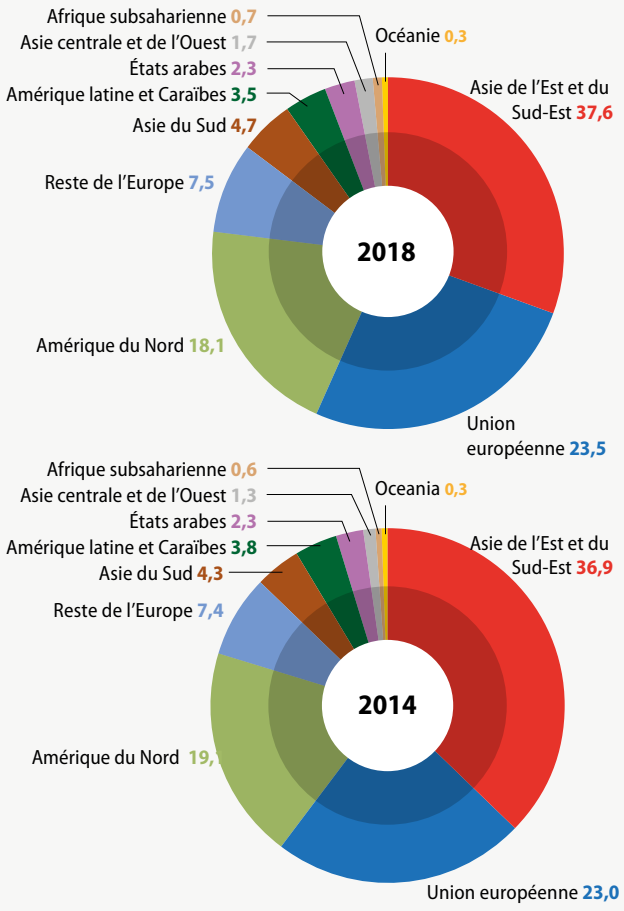
Parmi les pays présentant une différence d'au moins ± 0,10 % du PIB



Source: Estimations mondiales et régionales basées sur les données nationales de l'Institut de statistique de l'UNESCO, août 2020, sans extrapolation.

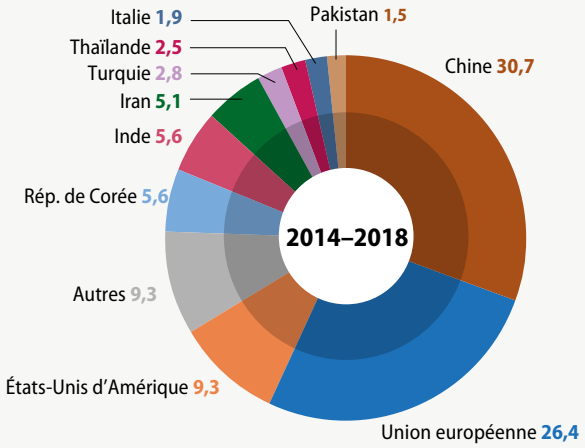
Figure 1.9 : **Tendances mondiales concernant les chercheurs (ETP)**

Part de l'effectif mondial des chercheurs par région, 2015 et 2018 (%)



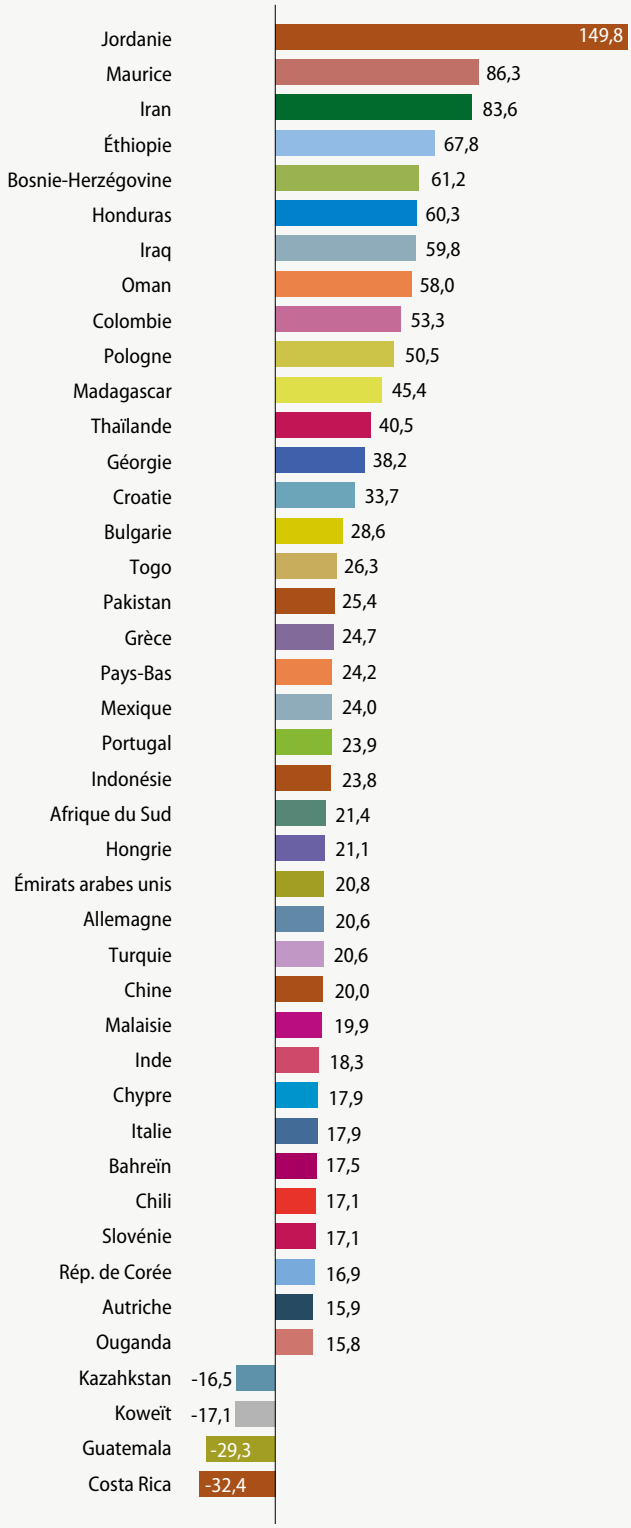
Contribution à l'augmentation du nombre de chercheurs dans le monde, 2014-2018 (%)

Dix premiers contributeurs et reste du monde



Évolution du nombre de chercheurs (ETP) par million d'habitants, 2014-2018 (%)

Parmi les pays présentant une évolution d'au moins 15 %



Source : Estimations mondiales et régionales basées sur les données nationales de l'Institut de statistique de l'UNESCO, août 2020, sans extrapolation ; pour la population : Banque mondiale, Indicateurs du développement dans le monde, août 2020

appliquée et le développement expérimental restent l'apanage du secteur privé. En 2017, les entreprises suisses ont investi 27 % de leurs dépenses de recherche dans la recherche fondamentale, soit le double par rapport à 2012. Aux États-Unis, le secteur des entreprises a financé 30 % de la recherche fondamentale en 2017, contre 23 % en 2010 ; en dollars, l'investissement du secteur privé dans la recherche fondamentale a doublé depuis 2007, aux États-Unis, alors que les niveaux de financement fédéral sont restés stables (depuis 2011).

Cette tendance pourrait en partie découler de l'avalanche de mégadonnées produites par la recherche fondamentale, lesquelles constituent un élément de plus en plus indispensable de la R-D appliquée. Les mégadonnées revêtent une importance centrale pour les entreprises technologiques de secteurs aussi variés que les réseaux sociaux, l'automobile et l'aéronautique ou encore l'industrie pharmaceutique. L'intelligence artificielle sert, par exemple, à déterminer la structure d'atomes et de molécules utilisés pour des applications industrielles dans le domaine des sciences des matériaux et dans l'industrie pharmaceutique (conception de médicaments assistée par ordinateur).

Les mégadonnées sont une ressource essentielle pour le secteur de la santé, qui joue un rôle moteur clé dans les économies suisse et américaine. Le coût du séquençage du génome ayant baissé grâce à la sophistication croissante des technologies connexes, les programmes ont produit des torrents de données sur des génomes humains individuels, donnant naissance à une industrie pharmacogénétique en plein essor. La médecine de précision personnalise les traitements en les adaptant au génome unique du patient. En 2019, 25 % des 48 nouvelles entités moléculaires approuvées par le Centre de recherche et d'évaluation des médicaments de la Food and Drug Administration des États-Unis étaient des médicaments personnalisés, d'après la Personalized Medicine Coalition. Pour analyser ce volume de données en pleine expansion, les entreprises pharmaceutiques vont devenir très dépendantes de l'intelligence artificielle et de l'informatique en nuage, ce qui les obligera à collaborer davantage avec les géants des données (voir le chapitre 5).

Ces tendances laissent entrevoir la possibilité pour les institutions publiques et les grandes entreprises de cofinancer des projets de recherche conjoints en matière de sciences fondamentales. Un tel changement de politique pourrait renforcer les sociétés nationales et attirer des entreprises étrangères. Cela engendrera également de nouvelles complexités dans des domaines tels que la protection de la propriété intellectuelle et la liberté de recherche (voir le chapitre 11).

TENDANCES EN MATIÈRE DE CHERCHEURS

Augmentation de la densité de chercheurs

Entre 2014 et 2018, l'effectif des chercheurs a augmenté trois fois plus vite (13,7 %) que la population mondiale (4,6 %). En équivalent temps plein (ETP), cela se traduit par 8,854 millions de chercheurs. Sans la Chine, la hausse de cet effectif (11,5 %) n'aurait été que deux fois supérieure à la croissance démographique (5,2 %).

En 2018, la Chine représentait 21,1 % de l'effectif mondial des chercheurs, soit une part légèrement inférieure à celle de l'Union européenne, qui s'élevait à 23,5 %. La part des États-Unis était quant à elle de 16,2 % (2017).

C'est dans les économies à faible revenu que l'augmentation de la densité de chercheurs a été la plus rapide (+ 36 %) depuis 2014, bien que ces pays ne représentent encore que 0,2 % de l'effectif mondial des chercheurs.

Certaines des plus fortes variations en pourcentage se produisent dans des pays en développement, tels que la Jordanie, Maurice, l'Iran et l'Éthiopie (figure 1.9).

En 2014, l'Amérique latine a franchi le seuil symbolique de 1 chercheur pour 1 000 actifs. Trois ans plus tard, la moyenne de la région avait légèrement progressé pour atteindre 1,03. La proportion de chercheurs était la plus élevée en Argentine (2,91), suivie du Brésil, du Chili, du Costa Rica et de l'Uruguay. L'absence d'augmentation de l'intensité de recherche dans certains pays pourrait compromettre ces progrès.

Mesures visant à améliorer la condition des chercheurs

L'exode des compétences demeure un problème chronique pour de nombreux pays où l'investissement dans la recherche est faible ou en stagnation. En Asie centrale, les gouvernements confrontés à ce phénomène ainsi qu'au vieillissement de l'effectif des chercheurs s'efforcent d'améliorer la condition de ces derniers par des mesures comme des augmentations de salaire, l'attribution de bourses de recherche par voie de concours et l'intensification des échanges avec des partenaires institutionnels de pays étrangers (voir le chapitre 14).

L'exode des compétences est un problème de taille en Europe du Sud-Est, les jeunes étant attirés par des pays européens plus prospères. Étant donné que les compétences scientifiques et techniques sont sous-utilisées dans leur économie, les gouvernements s'engagent à investir davantage dans la recherche et l'innovation. La Serbie est sur le point d'atteindre son objectif de 1 % en matière d'intensité de la recherche (voir le chapitre 10).

Entre 2014 et 2018, les dépenses de la Fédération de Russie dans la recherche ont diminué de 6 % en prix constants, et l'effectif des chercheurs (en ETP) a baissé de 9,5 %. En 2018, l'âge moyen des chercheurs russes était de 47 ans, et près d'un sur quatre avait atteint l'âge de la retraite. L'introduction de politiques d'augmentation des salaires et de divers programmes de bourses de recherche ciblant le groupe d'âge le plus jeune vise à inverser cette tendance (voir le chapitre 13).

Les femmes, minoritaires dans les domaines de l'industrie 4.0

En 2018, un chercheur sur trois (33 %) était une femme. Dans les sciences de la vie, la parité (en nombre) est acquise dans de nombreux pays, et les femmes sont même majoritaires dans certains cas. Toutefois, elles ne comptent que pour un quart (28 %) des diplômés du supérieur en

ingénierie et pour 40 % d'entre eux dans le domaine de l'informatique. Seulement 22 % des professionnels du secteur de l'intelligence artificielle sont des femmes. L'ironie, c'est que ces domaines sont le moteur de la quatrième révolution industrielle, et qu'ils souffrent en outre d'une pénurie de compétences. Les femmes restent minoritaires au sein des équipes techniques et dirigeantes des entreprises technologiques. Aux États-Unis, la principale raison invoquée par celles qui ont quitté leur emploi dans la technologie est le sentiment d'être sous-estimées (voir le chapitre 3).

Dans le secteur des entreprises, moins d'un chercheur sur quatre est une femme, et lorsque des femmes créent leur société, elles ont du mal à accéder au financement. En 2019, seulement 2 % du capital-risque étaient destinés à des start-ups fondées par des femmes. Certains pays ont mis en place des aides en faveur des entrepreneuses. Par exemple, le Chili a lancé en 2018 son programme de capital humain pour l'innovation dans les entreprises dirigées par des femmes. Celui-ci cofinance à hauteur de 30 millions de pesos maximum (environ 40 000 dollars des États-Unis) des start-ups technologiques créées par des femmes pour les aider à embaucher du personnel pour un projet donné, couvrant 80 % des coûts de recrutement pour les hommes et 90 % pour les femmes (voir le chapitre 3).

TENDANCES EN MATIÈRE DE BREVETS

La Chine ouvre son marché intérieur

En 2019, c'est à la Chine que le plus grand nombre de brevets a été délivré par les cinq principaux offices de brevets : 29 % (figure 1.10). Les parts des États-Unis (20 %) et de l'UE (14 %) se sont maintenues, tandis que celle du Japon a baissé pour atteindre 18 %, contre 23 % en 2015. La tendance observée au Japon découle peut-être de la décision de l'Office japonais des brevets d'augmenter les frais de brevet en vue d'inciter les inventeurs à être plus sélectifs dans les demandes qu'ils déposent.

Il existe généralement une corrélation étroite entre l'intensité de recherche d'un pays et ses performances en matière d'innovation. Dans la plupart des pays à haute intensité de recherche, le secteur des entreprises assume plus de la moitié des dépenses de recherche. En 2018, l'intensité de recherche du Japon et de la République de Corée était respectivement de 3,3 % et de 4,5 %. Le secteur des entreprises a financé 78 % de la recherche au Japon et 76 % en République de Corée (voir les chapitres 24 et 25). Ces deux pays présentent l'intensité de brevets la plus élevée du monde (figure 1.11).

Avec sa loi sur les investissements étrangers, entrée en vigueur le 1er janvier 2020, le Gouvernement chinois a adopté une législation historique en vue d'ouvrir le marché intérieur et de garantir des conditions équitables pour les entreprises étrangères qui sont en concurrence avec les entreprises d'État et les sociétés privées.

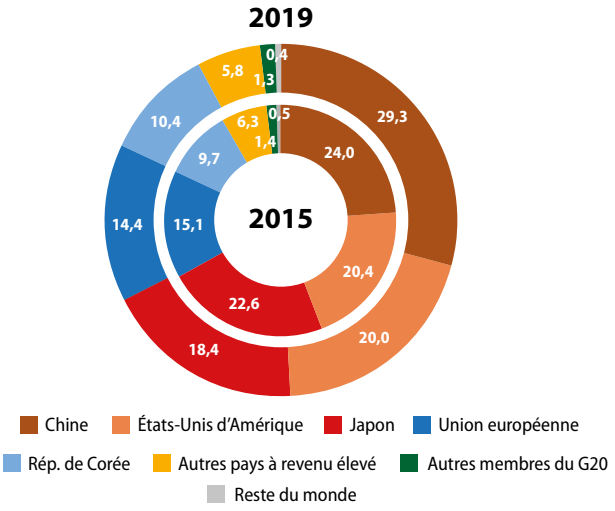
La question de la protection et de la mise en œuvre de la propriété intellectuelle a compliqué les négociations commerciales entre la Chine et les États-Unis pendant un certain temps, mais les industries stratégiques chinoises aspirent elles-mêmes à bénéficier d'une plus grande protection de leur propriété intellectuelle de la part du Gouvernement. Par conséquent, la loi sur la protection contre la concurrence déloyale et la loi sur les brevets ont été respectivement modifiées en avril 2019 et en 2020. Après la création, fin 2014, des premiers tribunaux spécialisés dans la propriété intellectuelle à Beijing, Shanghai et Guangzhou, 20 tribunaux de ce type ont été institués dans plusieurs provinces entre 2017 et 2020, et un tribunal national de la propriété intellectuelle a été établi au sein de la Cour populaire suprême le 1er janvier 2019 (voir le chapitre 23).

Réformes visant à faciliter la délivrance de brevets

L'intérêt croissant pour l'innovation conduit de plus en plus de gouvernements à adopter des lois destinées à faciliter la protection de la propriété intellectuelle pour les start-ups et autres entreprises (par exemple, au Libéria, au Myanmar, en Namibie, en Ouzbékistan et au Viet Nam). Au Libéria, l'adoption, en 2016, de la loi sur la propriété intellectuelle a suivi la création, en 2015, du Fonds d'innovation du Libéria pour l'entrepreneuriat, qui est financé conjointement avec le Gouvernement du Japon. De 2015 à 2019, 23 brevets ont été octroyés à des inventeurs libériens par les cinq principaux offices des brevets. En 2018, les ministres de la Communauté de développement de l'Afrique australe (SADC) ont adopté un Cadre de propriété intellectuelle sous-régional, afin de promouvoir la coopération mutuelle en matière de réforme des régimes nationaux de propriété intellectuelle.

Figure 1.10: **Part des brevets IP5 dans le monde, 2015 et 2019 (%)**

Quatre premiers pays et groupes particuliers



Remarque : Le nombre de brevets est calculé à l'aide de la méthode du comptage complet, selon les pays des inventeurs et les années de délivrance des brevets par les cinq offices des brevets, à savoir l'Office des brevets et des marques des États-Unis, l'Office européen des brevets, l'Office des brevets du Japon, l'Office coréen de la propriété intellectuelle et l'Office national de la propriété intellectuelle de la République populaire de Chine. La somme des pays/régions est supérieure au total mondial du fait de la prise en compte des co-inventeurs.

Source : PATSTAT ; traitement des données par Science-Metrix

Partout dans le monde, les procédures à suivre pour déposer des demandes de brevet peuvent être complexes, et le coût du brevetage élevé. À l'heure actuelle, les entreprises européennes doivent présenter des demandes de protection par brevet dans les 27 pays membres de l'UE. Une fois le processus de ratification de l'accord sur la juridiction unifiée du brevet (2013) achevé, elles n'auront plus qu'une demande à déposer auprès de l'Office européen des brevets. Les frais de procédure devraient par conséquent diminuer (voir le chapitre 9).

Entre 2015 et 2018, le nombre de demandes de brevet déposées par des inventeurs nationaux auprès du service fédéral russe de la propriété intellectuelle (Rospatent) a baissé. Face à ce ralentissement, le Gouvernement a réduit les droits de brevets applicables aux demandeurs, et a offert des réductions fiscales pour alléger le coût du brevetage et des prêts et crédits garantis par les droits de propriété intellectuelle. Ces aides sont accessibles à ceux qui déposent des demandes de brevet à l'étranger (voir le chapitre 13).

En Afrique, le coût élevé de l'enregistrement des droits de propriété intellectuelle et l'absence de régime commun entravent le dépôt de brevets, malgré l'essor des pôles technologiques. Il est peu probable que ce problème trouve une solution dans un avenir proche, étant donné que l'Organisation panafricaine de la propriété intellectuelle met plus de temps que prévu à entrer en fonctionnement. L'enregistrement d'un brevet de 30 pages et son maintien en vigueur pendant les dix premières années coûtent 37 000 dollars des États-Unis auprès de l'African Regional Intellectual Property Organization, et 30 000 dollars auprès de l'Organisation africaine de la propriété intellectuelle. À titre de comparaison, ce coût est de 5 216 dollars des États-Unis en Afrique du Sud, 4 330 dollars en Malaisie, et seulement 2 500 dollars au Royaume-Uni (voir le chapitre 19).

Les multinationales étrangères s'arrachent les start-ups

Les sociétés israéliennes détiennent moins de la moitié des brevets obtenus par des inventeurs nationaux. Cela signifie que les connaissances sont créées en Israël puis transférées à des entreprises étrangères. De plus en plus, les droits de propriété intellectuelle israéliens sont obtenus par l'acquisition de sociétés et de start-ups du pays. Les entreprises qui achètent le plus de sociétés israéliennes depuis 2014 sont Google, Microsoft et Intel. Cette tendance croissante pourrait entraîner la migration de la production et des emplois à l'étranger (voir le chapitre 16).

Au Canada, les entreprises sous contrôle étranger comptent pour un tiers de la R-D interne. L'industrie externalise de plus en plus la recherche à l'étranger : les dépenses de recherche externalisées des sociétés ont augmenté pour la troisième année consécutive, atteignant 4,9 milliards de dollars canadiens en 2017, d'après Statistique Canada. Bien que les conditions macroéconomiques et le cadre réglementaire semblent propices à la création et au développement des entreprises, les start-ups prometteuses du pays sont souvent acquises et développées à l'étranger. En outre, il est ressorti d'enquêtes menées auprès de sociétés et d'acteurs du secteur de la technologie du Canada que le manque de compétence et d'expérience en matière de gestion de l'expansion des entreprises technologiques nationales constitue un obstacle majeur (voir le chapitre 4).

Les pays en développement dotés d'industries innovantes sont également touchés par ce phénomène. En Inde, la plupart des brevets concernent des produits pharmaceutiques et les technologies de l'information. Environ 85 % des cessionnaires de brevets délivrés par l'Office indien des brevets et l'Office des brevets et des marques des États-Unis sont des inventeurs étrangers, généralement représentés par des sociétés multinationales spécialisées dans les technologies numériques (voir le chapitre 22).

Renoncer aux droits de brevet pour le bien commun

Des entreprises technologiques de premier plan, comme IBM, font don de certains de leurs brevets à des initiatives d'ouverture du code source, suivant ainsi la tendance mondiale à un partage plus ouvert des connaissances (voir le chapitre 20 et l'essai *The time for open science is now*).

Le 29 mai 2020, le Costa Rica et l'Organisation mondiale de la Santé ont lancé un groupement volontaire d'accès aux technologies contre la COVID-19, qui invite la communauté mondiale à mettre en commun les connaissances, la propriété intellectuelle et les données s'y rapportant dans un répertoire en ligne (voir le chapitre 7).

TENDANCES EN MATIÈRE D'ÉDITION SCIENTIFIQUE

Forte croissance des technologies transversales

La recherche en matière de santé reste prédominante dans la production scientifique, avec 33,9 % des publications en 2019. Parmi les grands domaines, ce sont les sciences de l'environnement qui ont affiché la croissance la plus rapide pendant la période 2015-2019 (+ 45,7 %), alors qu'elles partaient d'un niveau peu élevé : 3,6 % de la production mondiale en 2015.

Au cours de cette période, on a observé une tendance générale à l'intensification de l'édition scientifique, avec une production mondiale 2019 supérieure de 21 % à celle de 2015. Les publications consacrées aux technologies stratégiques transversales ont même progressé de 33 % (figure 1.12).

Ces tendances se manifestent également dans les pays à revenu intermédiaire inférieur et à faible revenu, qui ont enregistré des taux de croissance comptant parmi les plus rapides dans les deux catégories de publication. La production scientifique globale a augmenté de 71 % dans les pays à faible revenu, et de 170 % pour les technologies transversales (figure 1.12).

Les technologies transversales ont représenté 18 % de la production scientifique mondiale en 2019, l'intelligence artificielle et la robotique en tête (figure 1.13).

Entre 2015 et 2019, les parts de la Chine, de l'Union européenne et des États-Unis dans les publications consacrées à l'IA et à la robotique ont diminué, du fait de l'essor de la production scientifique des pays en développement dans ce domaine (figures 1.6 et 1.13).

Les deuxièmes technologies transversales les plus populaires concernent l'énergie, suivie des sciences des matériaux (figures 1.5, 1.14 et 1.15). L'énergie est le premier domaine pour la Chine, l'Égypte, la République de Corée, l'Arabie saoudite et l'Afrique du Sud, par exemple. Les sciences des matériaux se classent en première position en Indonésie et dans la Fédération de Russie.

Le quatrième domaine à la croissance la plus rapide est celui des nanosciences et des nanotechnologies, en grande partie grâce à la Chine, qui a produit un peu moins de la moitié de l'ensemble des publications s'y rapportant en 2019 (figure 1.6).

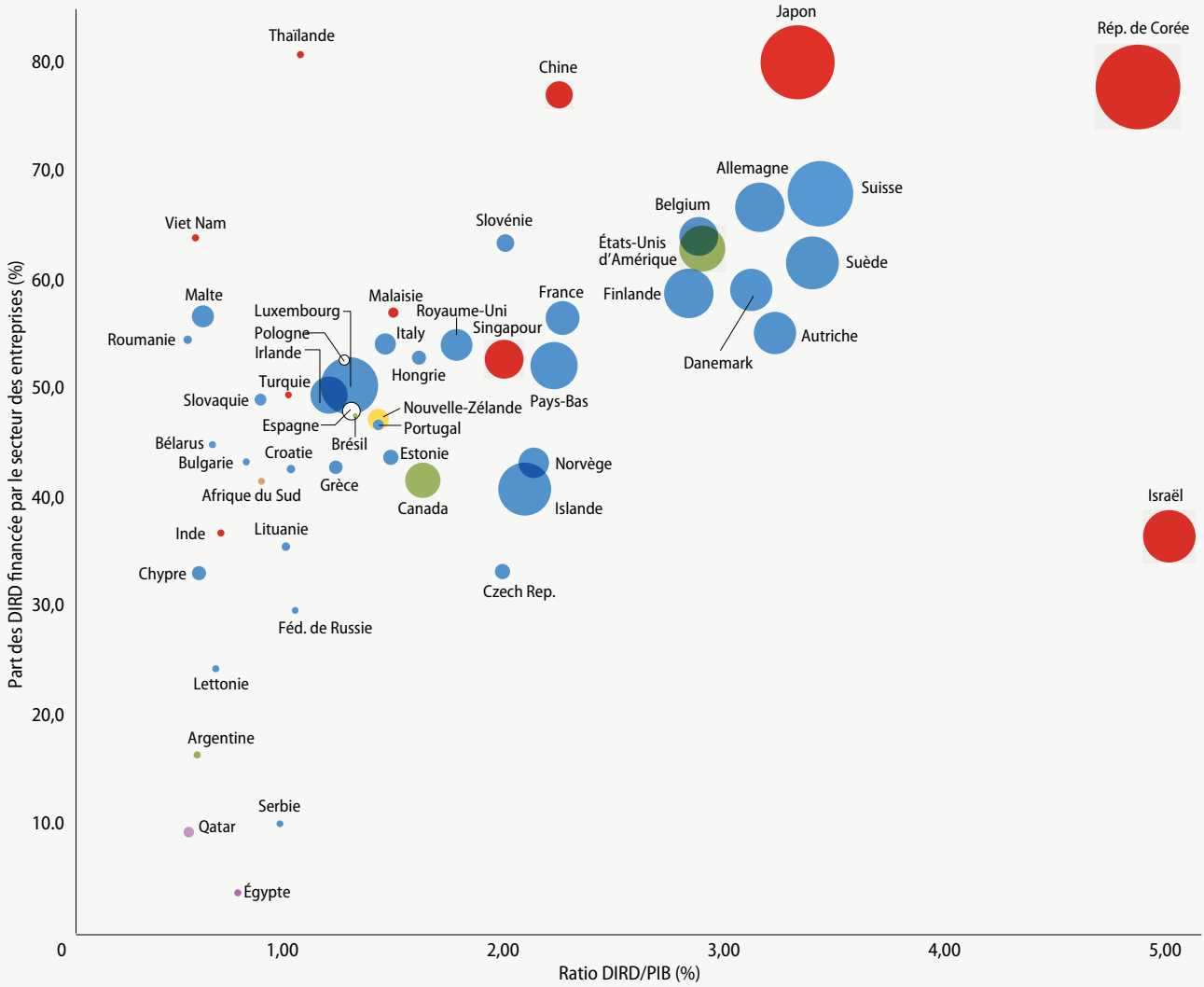
Dans le domaine de la biotechnologie, seulement 18 000 publications de plus ont été dénombrées en 2019 par rapport à 2015. À titre de comparaison, 148 000 publications supplémentaires ont été produites au cours de la même période sur l'IA et la robotique, par des pays de tous niveaux de revenu.

Transformation rapide du paysage de l'édition scientifique

En 2019, l'UE (28,6 %), la Chine (24,5 %) et les États-Unis (20,5 %) représentaient à eux seuls les trois quarts de la production scientifique mondiale. Treize autres pays étaient à l'origine de 1 % ou plus des publications : l'Inde (6,1 %), le Japon (4,5 %), la Fédération de Russie (3,7 %), le Canada (3,6 %), l'Australie (3,3 %), la République de Corée (3,1 %), le Brésil (2,8 %), l'Iran (2,3 %), la Turquie (1,6 %), la Suisse (1,5 %),

Figure 1.11 : **Effet de renforcement mutuel sur les brevets d'un fort investissement dans la recherche par le gouvernement et l'industrie, 2018 ou année la plus proche**

Parmi les pays ayant obtenu au moins 100 brevets IP5 et dont l'intensité de recherche était d'au moins 0,5 % du PIB en 2018.
La taille des cercles est proportionnelle au nombre de brevets IP5 par million d'habitants.



Remarque : La contribution du secteur des entreprises peut être sous-estimée pour les pays qui ne réalisent pas d'enquête exhaustive sur ce secteur.

Source : Institut de statistique de l'UNESCO ; pour les brevets : PATSTAT, traitement des données par Science-Metrix

l'Indonésie (1,4 %), la Malaisie (1,1 %) et l'Arabie saoudite (1,0 %)[11].

L'UE ressentira bientôt plus fortement la perte de production scientifique découlant du Brexit, le Royaume-Uni ayant la plus forte intensité de publication de l'Union. En échange d'une contribution financière initiale, les scientifiques britanniques seront toujours autorisés à concourir pour obtenir des subventions de recherche fondamentale auprès du Conseil européen de la recherche (CER) à compter de 2021, mais ils n'auront plus le droit d'influencer la forme de ce programme de recherche majeur. De 2014 à 2020, le Royaume-Uni a été le premier bénéficiaire des subventions du CER, attirant ainsi les talents européens : 43 % des bénéficiaires de subventions du CER basés au Royaume-Uni en 2020 étaient des citoyens britanniques, et 37 % étaient des citoyens de l'UE (voir le chapitre 9).

En Amérique latine, la production scientifique de l'Équateur a connu le taux de croissance le plus rapide (152 %). Au cours des périodes 2012-2015 et 2016-2019, le nombre de publications équatoriennes sur l'IA et la robotique a été multiplié par neuf, ce qui représente l'un des taux de croissance les plus élevés du monde (figure 1.13).

La part de l'Indonésie dans la production mondiale (0,15 % en 2011 et 0,3 % en 2015) et celle de l'Arabie saoudite (0,43 % en 2011 et 0,81 % en 2015) ont sensiblement augmenté.

En 2017, le Gouvernement indonésien a intégré la publication de travaux de recherche dans des revues internationales indexées à l'examen des performances professionnelles des scientifiques. Alors que la production indonésienne a grimpé en flèche, la proportion de publications rédigées avec des collaborateurs étrangers a diminué, accélérant un déclin déjà abrupt depuis le pic de 55 % atteint en 2012, avec seulement 17 % de copublications avec des auteurs étrangers en 2019.

La forte croissance des publications scientifiques en Arabie saoudite (+ 43 % entre 2015 et 2019) peut s'expliquer par la politique adoptée par les universités saoudiennes, consistant à recruter des scientifiques étrangers fréquemment cités. En 2019, 76 % des publications saoudiennes avaient été corédigées avec des auteurs étrangers.

D'après une étude de la base de données Web of Science, sur près de 6 100 chercheurs fréquemment cités au niveau mondial en 2018, ils n'étaient que 90 environ à être basés dans des universités du monde arabe, principalement en Arabie saoudite, et six seulement étaient originaires de la région arabe (voir le chapitre 17).

TENDANCES EN MATIÈRE DE COLLABORATION SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

Intensification de la collaboration scientifique internationale

Au niveau mondial, le taux de collaboration scientifique internationale est passé de 22 % à 24 % entre 2015 et 2019 (figure 1.4). Cette moyenne cache d'importantes disparités entre les différents pays et groupes de revenu. La croissance a été la plus rapide dans les pays à revenu élevé (de 30 % à 36 %). Dans l'Union européenne, la proportion d'articles corédigés avec des auteurs de pays tiers est passée de 41 % à 47 %. Aux États-Unis, la collaboration scientifique internationale a progressé de 36 % à 41 % et se situe désormais au même niveau que la moyenne de l'Amérique latine, ce qui semble indiquer que la collaboration scientifique n'a pas été mise à mal par le retrait des États-Unis du système multilatéral à partir de 2017 dans le cadre de la politique America First (voir le chapitre 5). La Chine reste le premier partenaire scientifique international des États-Unis et réciproquement, malgré des tensions dans les domaines commercial et technologique (voir les chapitres 5 et 23).

Dans les pays à faible revenu, le niveau de collaboration scientifique internationale demeure élevé (de 72 % à 70 %). Les taux modestes de la Chine (23 %) et de l'Inde (19 %) en 2019 (figure 1.4) expliquent la moyenne inférieure respectivement obtenue par les pays à revenu intermédiaire supérieur et par les pays à revenu intermédiaire inférieur. Il est à noter que la Chine est devenue l'un des cinq premiers partenaires scientifiques de l'Inde (voir le chapitre 22).

La Fédération de Russie va à contre-courant de la tendance mondiale, avec un niveau de collaboration scientifique internationale qui a chuté de 27 % à 24 % pendant la période 2015-2019 (figure 1.4).

L'Asie du Sud et du Sud-Est présente les niveaux de collaboration scientifique internationale les plus bas, avec moins de 25 % en moyenne. L'Iran a renforcé ses liens scientifiques internationaux depuis 2015, la proportion de copublications ayant fortement augmenté, passant de 21 % à 28 % (figure 1.4) ; cette tendance pourrait résulter de la levée des sanctions économiques, en 2016. La Malaisie (44 % en 2019), le Pakistan (56 %) et Singapour (71 %) présentent des taux de collaboration scientifique internationale parmi les plus élevés d'Asie, taux qui a en outre augmenté d'au moins 5 % dans les trois pays depuis 2015.

Marché des talents et diaspora : des facteurs de changement

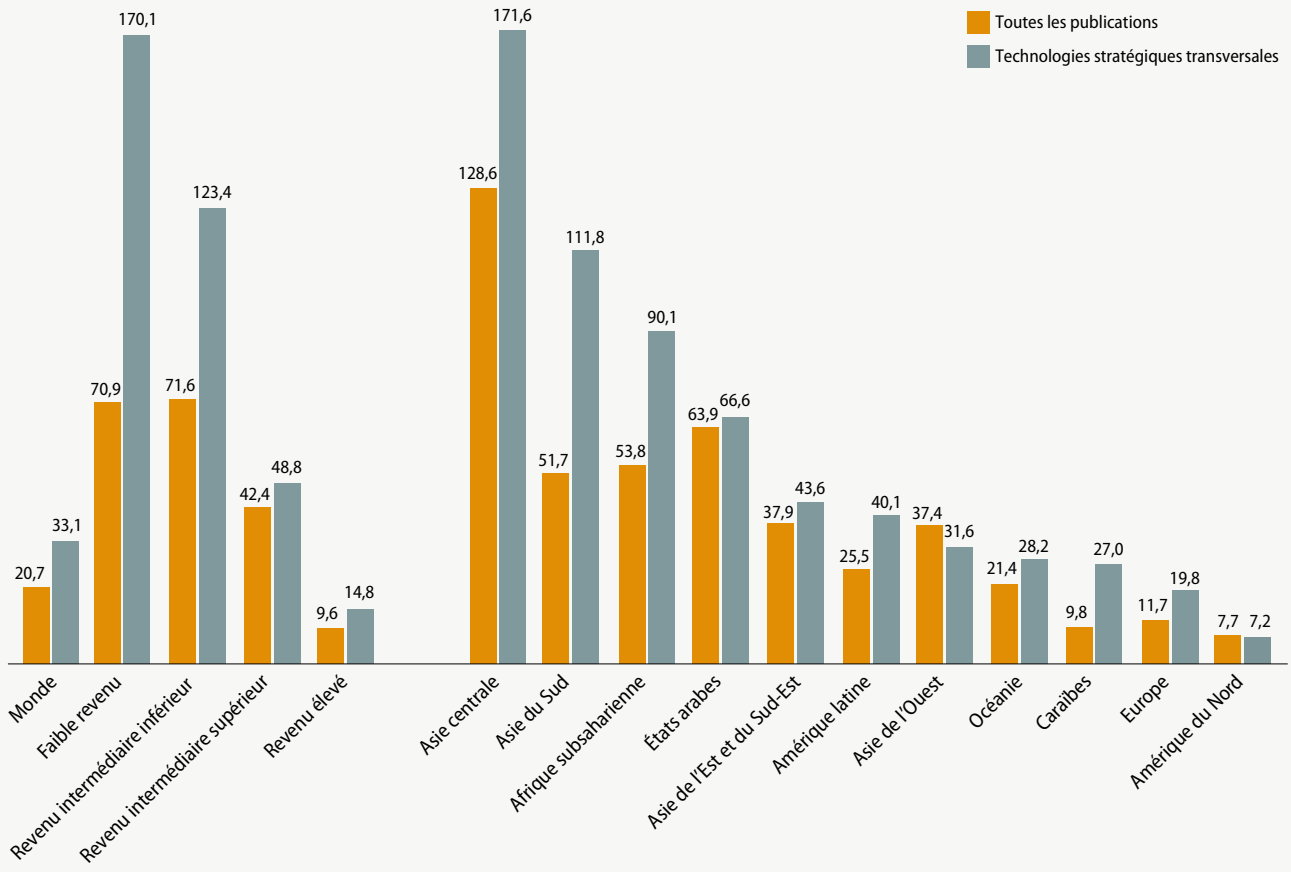
Les scientifiques fréquemment cités sont courtisés par les pays en développement désireux d'enrichir ou d'accroître leur production scientifique. Un marché des talents lucratif a vu le jour, faisant augmenter la rémunération des scientifiques réputés. Cette tendance fait grimper à la hausse les statistiques nationales en matière d'édition et de collaboration internationale scientifiques.

L'importance croissante de la diaspora contribue également à ce phénomène. Ainsi, le fait que l'Arabie saoudite soit le deuxième partenaire scientifique du Pakistan s'explique essentiellement par les liens avec la diaspora (voir le chapitre 21).

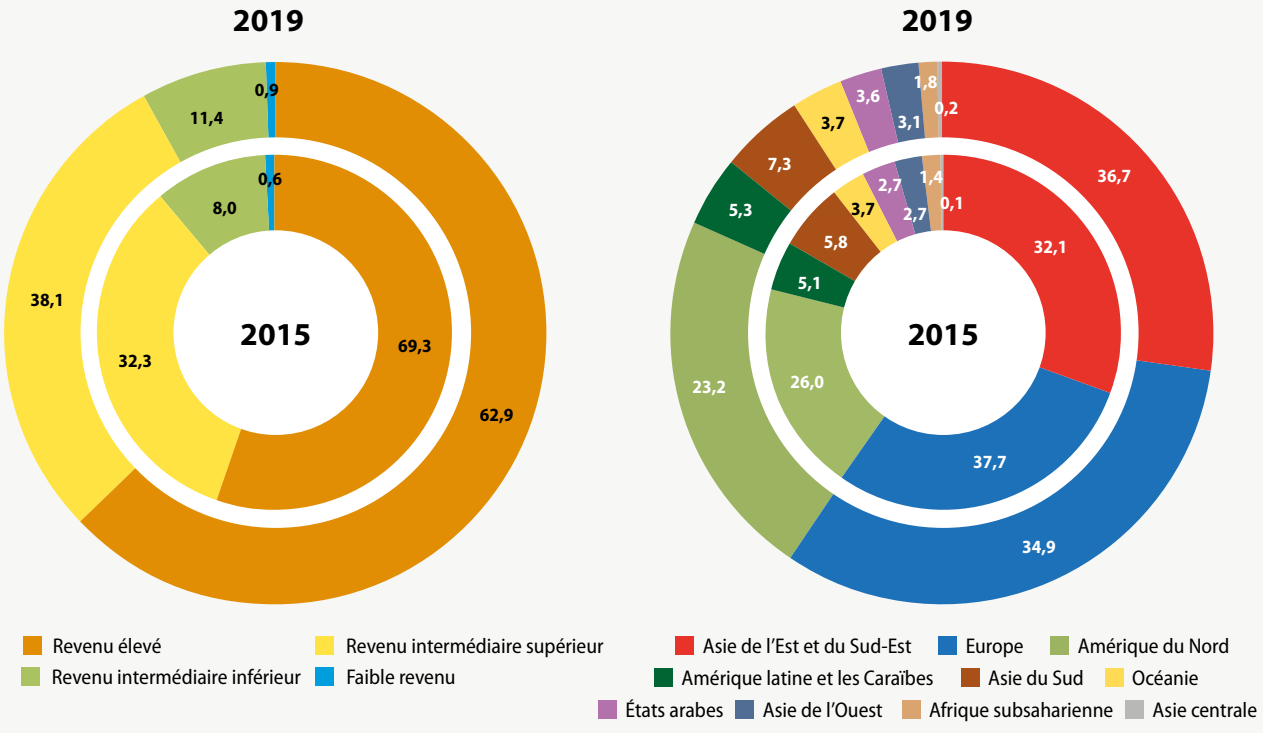
Les scientifiques qui fuient les zones de conflit font partie de ces populations émigrées. La production scientifique des chercheurs rattachés à des institutions syriennes a progressé de 29 % pendant la période 2015-2019. Au Yémen, où plus de 43 centres scientifiques publics affiliés à des universités yéménites ont dû suspendre leurs activités à la suite de dommages structurels subis par leurs installations, le nombre de travaux de recherche est passé de 281 publications en

Figure 1.12 : **Tendances mondiales en matière d'édition scientifique**

Évolution du volume de la production, 2015-2019 (%)
Par groupe de revenu et par région

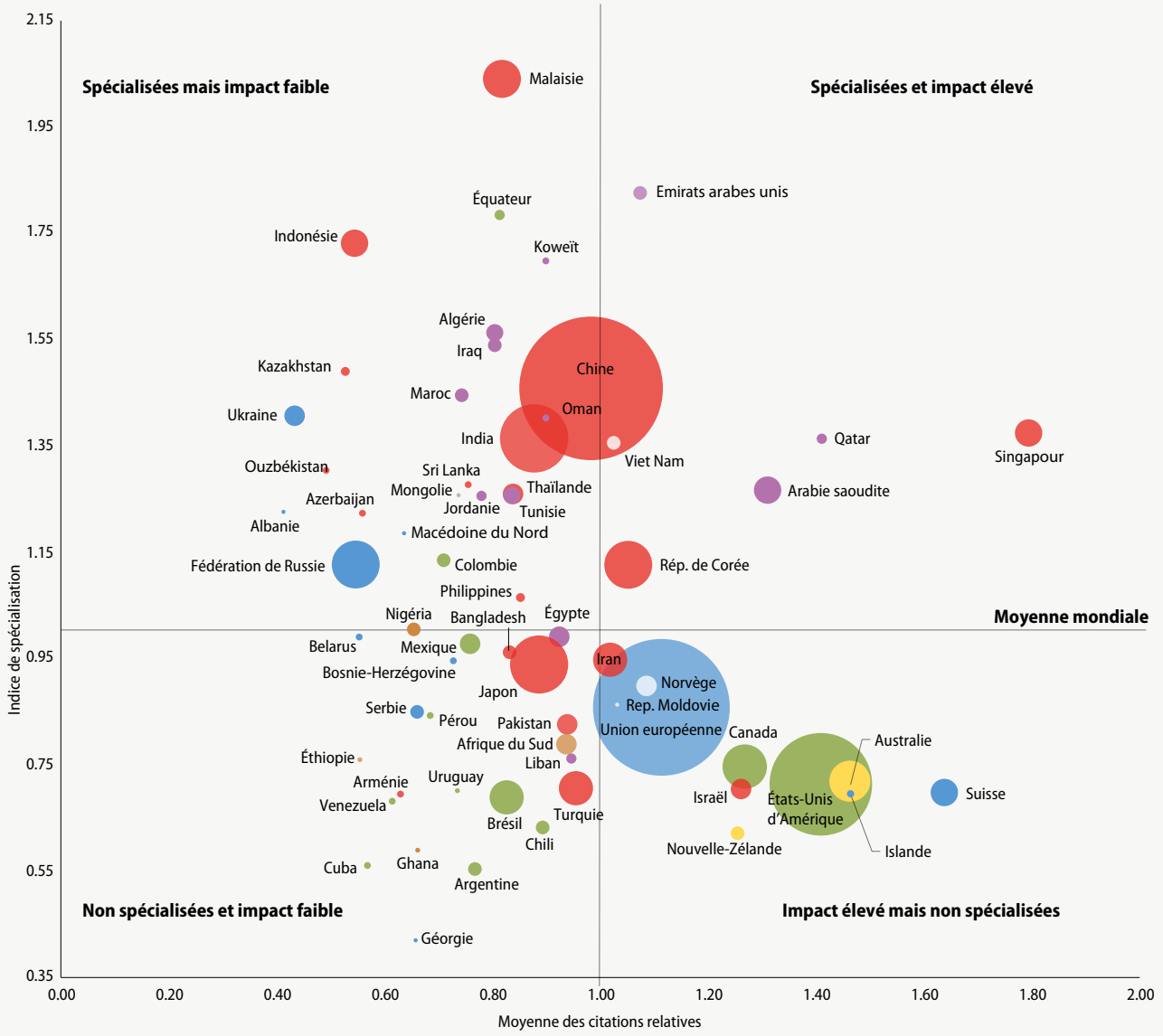


Parts des publications scientifiques dans le monde, 2015 et 2019 (%)
Par groupe de revenu et par région

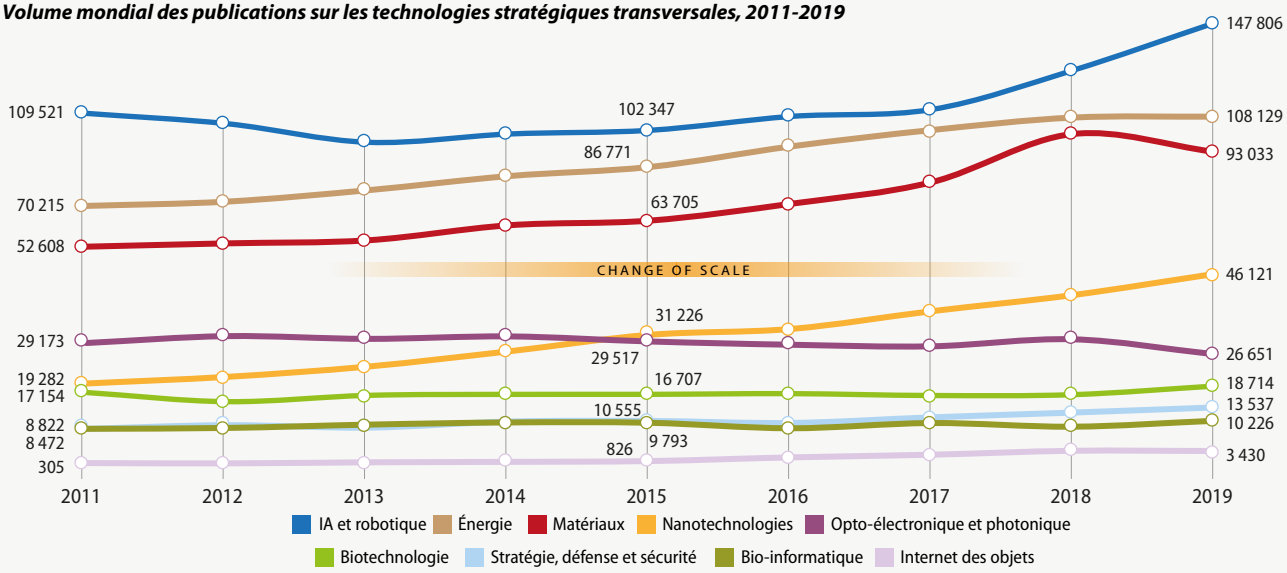


Source : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales ; traitement des données par Science-Metrix

Spécialisation et moyenne des citations relatives des publications sur les technologies stratégiques transversales, par pays et par région, 2011-2019
Parmi les pays comptant au moins 1 000 publications dans ce grand domaine en 2011-2019.



Volume mondial des publications sur les technologies stratégiques transversales, 2011-2019



Remarque : La somme des chiffres et des pourcentages indiqués pour les diverses régions dépasse le chiffre total, du fait que les travaux signés par de multiples auteurs issus de différentes régions sont comptabilisés dans chacune de ces régions. Les technologies stratégiques transversales comprennent l'IA et la robotique, la bio-informatique, la biotechnologie, la technologie de la chaîne de blocs, l'énergie, l'Internet des objets, les matériaux, les nanosciences et les nanotechnologies, l'opto-électronique et la photonique, ainsi que les études stratégiques, de défense et de sécurité. Aucune revue indexée par Scopus et spécialisée dans la technologie de la chaîne de blocs n'a publié d'articles avant 2018. IA signifie « intelligence artificielle ».

Source : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales ; traitement des données par Science-Metrix

2015 à 614 en 2019 (voir le chapitre 17 et l'essai *The integration of refugee and displaced scientists creates a win–win situation*).

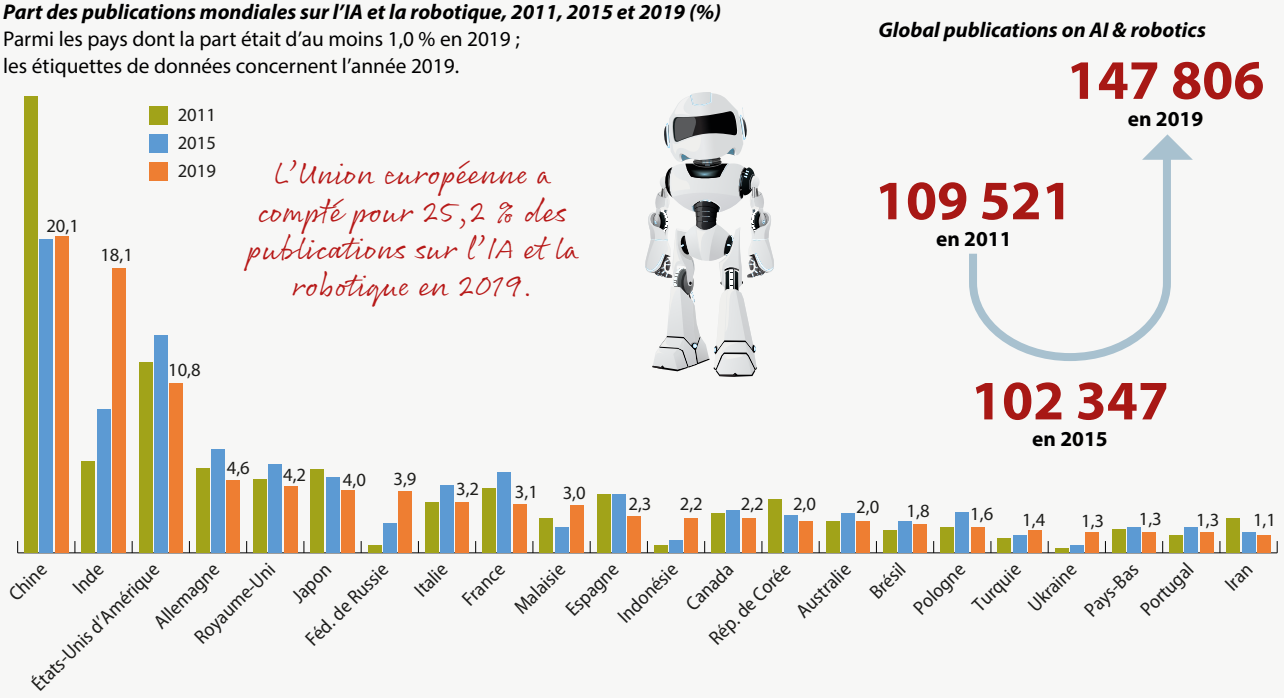
Aux Philippines, en revanche, la collaboration scientifique internationale dégringole depuis 2014, année où six articles sur dix étaient rédigés avec un coauteur étranger. Le renforcement, en 2018, de la loi sur le retour au pays des scientifiques[12] peut expliquer la baisse très nette de la part des copublications avec des auteurs rattachés à des institutions étrangères, qui est passée de 49 % en 2018 à 41 % un an après seulement, à supposer que la collaboration scientifique internationale ait été en grande partie due aux liens avec la diaspora.

Des sciences de l'environnement très collaboratives

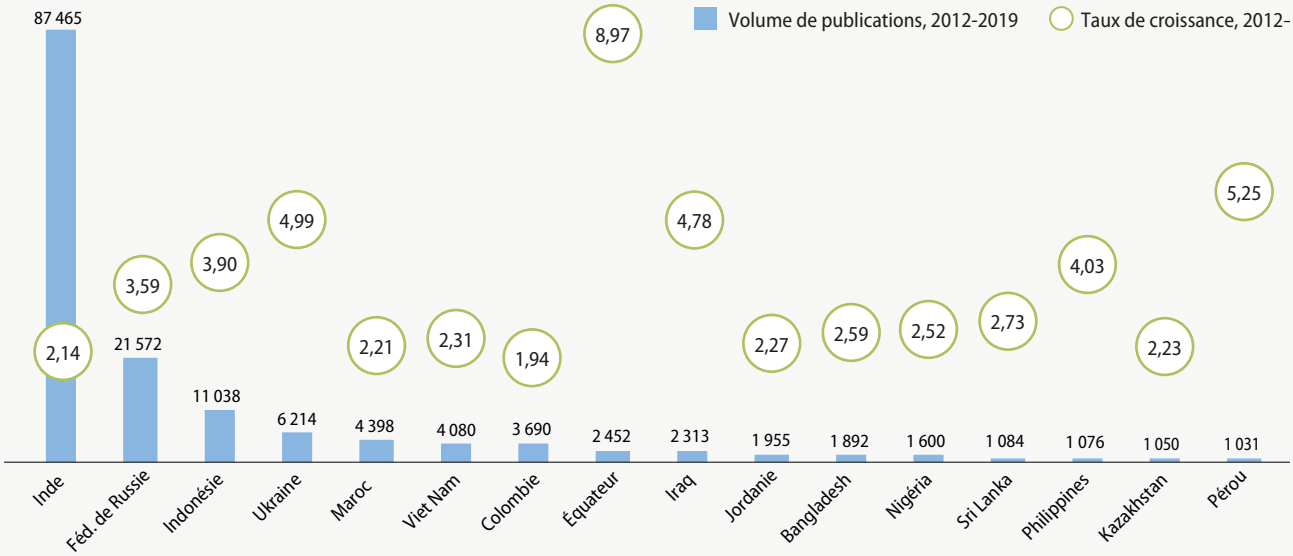
C'est dans le domaine des sciences de la terre que la collaboration internationale est la plus répandue, un tiers des publications mondiales (36 %) de 2019 ayant impliqué des auteurs de plus d'un pays, contre 33 % en 2015. Viennent ensuite d'autres disciplines des sciences de l'environnement (figure 1.16) : en 2019, six publications de l'UE sur dix (59 %)

Figure 1.13 : **Tendances concernant les publications scientifiques sur l'intelligence artificielle et la robotique**

Part des publications mondiales sur l'IA et la robotique, 2011, 2015 et 2019 (%)
Parmi les pays dont la part était d'au moins 1,0 % en 2019 ;
les étiquettes de données concernent l'année 2019.



15 premiers pays pour le taux de croissance des publications scientifiques sur l'IA et la robotique, 2012-2019
Parmi les pays ayant produit au moins 500 publications, classés par volume



Remarque : Le taux de croissance est calculé en divisant le nombre de publications de 2016-2019 par le nombre de publications de 2012-2015.

Source : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales ; traitement des données par Science-Metrix

ont été produites dans le cadre de partenariats avec des pays tiers, proportion similaire à celle observée pour les scientifiques subsahariens (64 %).

La part des copublications internationales relatives aux technologies stratégiques transversales et à l'ingénierie oscille autour de la barre des 20 % depuis 2015. Les économies à haut revenu ont intensifié leur collaboration avec des pays d'autres groupes de revenu en ce qui concerne les technologies stratégiques transversales, passant de 31 % de copublications en 2015 à 37 % en 2019.

La science peut servir une cause commune

Dans l'Arctique, région qui bénéficie d'un dixième des investissements économiques russes, l'Union européenne et la Fédération de Russie ont coopéré sur des questions telles que la gestion des eaux usées et le traitement des déchets nucléaires. En mai 2017, les huit États arctiques ont signé l'*Accord sur le renforcement de la coopération scientifique internationale dans l'Arctique*, à savoir le Canada, le Danemark, les États-Unis, la Fédération de Russie, la Finlande, l'Islande, la Norvège et la Suède (voir le chapitre 13).

Le budget 2020-2021 de la Nouvelle-Zélande alloue 35 millions de dollars néo-zélandais au Catalyst Fund, qui soutient les relations internationales dans le domaine de la recherche. Le pays fait déjà partie de l'Alliance mondiale de recherche sur les gaz à effet de serre en agriculture. En 2018, il a augmenté son aide publique au développement de 30 %, en réponse aux besoins de financement des pays en développement pour la réalisation du *Programme de développement durable à l'horizon 2030*. Environ 60 % de cette aide est destinée à la région Pacifique, où la Nouvelle-Zélande a figuré parmi les cinq premiers partenaires scientifiques des îles Cook, des Fidji, des Palaos, des Tonga et du Samoa pendant la période 2017-2019. Les scientifiques néo-zélandais ont cosigné 64 % des publications avec des partenaires étrangers en 2019, contre 59 % auparavant.

Dans le cadre du *Plan d'action pour la coopération en matière de science, de technologie et d'innovation de l'initiative « Une Ceinture et une Route »*, annoncé par la Chine en mai 2017, cinq plates-formes de transfert de technologies doivent être créées dans des pays de l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est (ASEAN), du monde arabe, de l'Asie centrale et de l'Europe centrale et orientale, ainsi que plusieurs centres communs de recherche en Afrique (voir le chapitre 23).

Au cours des périodes 2014-2016 et 2017-2019, le nombre de cas où un pays de l'ASEAN a figuré parmi les cinq premiers partenaires d'un autre pays membre de l'Association est passé de cinq à huit. Pendant ces six années, la Chine est restée l'un des cinq premiers partenaires pour six des dix pays de l'ASEAN, et l'Australie pour huit d'entre eux.

Intensification de la collaboration scientifique intrarégionale

Dans l'ensemble, on observe une tendance à l'intensification de la collaboration scientifique intrarégionale. Le Brésil et le Pérou font partie des cinq premiers partenaires scientifiques de la Colombie, par exemple. Le Ghana est devenu l'un des cinq premiers partenaires du Burkina Faso, du Libéria et de la Sierra Leone pendant la période 2017-2019. L'Ouganda a compté parmi les cinq premiers partenaires de huit pays subsahariens, et l'Afrique du Sud pour pas moins de 23 au cours de la même période.

En Afrique du Sud, la proportion de copublications internationales est passée de 54 % à 57 % depuis 2015. La Fondation nationale sud-africaine pour la recherche est l'un des trois parrains de l'Initiative des conseils subventionnaires de la recherche scientifique en Afrique subsaharienne, créée en 2016 avec le Centre de recherches pour le développement international du Canada et le Département britannique du développement international. Dans le cadre de cette initiative, la Commission nationale pour la science et la technologie (NCST) du Malawi a lancé, en 2019, des appels à collaboration en matière de recherche agricole à l'intention du Mozambique et du Zimbabwe. En août 2020, le NCST a lancé un appel trilatéral à propositions de recherche collaborative sur les énergies renouvelables destiné à la Zambie et au Mozambique (voir le chapitre 20). Au Burkina Faso, le Fonds national de la recherche et de l'innovation pour le développement (FONRID, créé en 2011) s'est associé au Sénégal pour obtenir des subventions de recherche conjointes dans le domaine de l'alimentation et de l'agriculture par le biais de l'Initiative des conseils subventionnaires (voir le chapitre 18).

La Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) a elle-même encouragé la collaboration et la mobilité scientifiques sous-régionales. Depuis 2018, son programme de soutien à la recherche et à l'innovation accorde des subventions annuelles par voie de concours à des équipes de recherche de la sous-région, l'accent étant mis sur la recherche de solutions aux problèmes (voir le chapitre 18).

EXAMEN DÉTAILLÉ DES PAYS ET RÉGIONS

Au **Canada** (chapitre 4), une relance des infrastructures de recherche publiques se dessine après des années de déclin. Le Gouvernement a investi dans de nouvelles installations de recherche, et l'expérimentation de modes de coopération novateurs entre les laboratoires fédéraux, les universités et les entreprises est en cours.

Les dépenses consacrées à la R-D industrielle en pourcentage du PIB ne représentent que la moitié de la moyenne de l'OCDE. Le Gouvernement a lancé diverses initiatives pour rectifier la situation. Dans le cadre du *Plan pour l'innovation et les compétences* (2017), il a créé le Fonds stratégique pour l'innovation afin de stimuler l'innovation par le biais de projets de grande envergure avec l'industrie ; début 2020, une enveloppe de 2,2 milliards de dollars canadiens avait ainsi été consacrée au financement de plus de 65 projets.

En 2017, le Gouvernement a insisté auprès des entreprises canadiennes pour qu'elles nouent des partenariats avec des instituts de recherche afin d'élaborer des stratégies d'innovation « audacieuses et ambitieuses » dans le cadre de l'Initiative des Supergrappes d'innovation axée sur l'économie des océans, la fabrication de pointe, la technologie numérique, les industries des protéines et l'intelligence artificielle.

De l'avis des groupes industriels, les administrations fédérales et provinciales fonctionnent suivant un modèle d'innovation linéaire fondé sur l'offre. Ce problème est particulièrement difficile à résoudre puisqu'il n'existe pas de stratégie nationale en matière de STI et que les provinces et les territoires mettent en œuvre leurs propres stratégies et programmes.

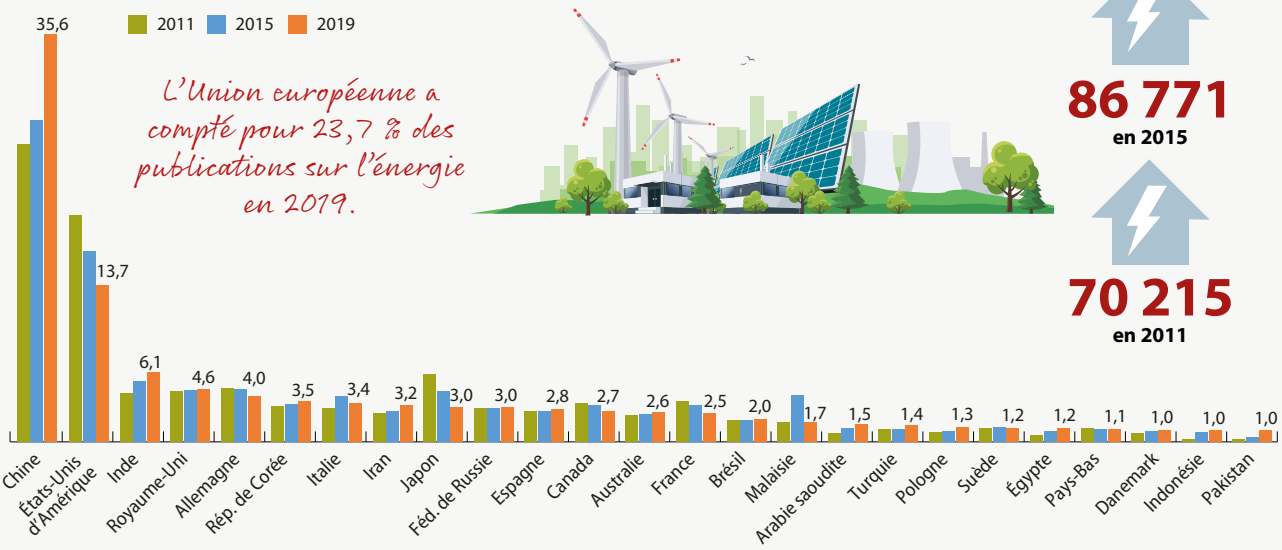
Le tout nouveau Comité de coordination de la recherche au Canada est chargé d'améliorer la coordination à l'échelon fédéral, notamment par l'intermédiaire du fonds Nouvelles frontières en recherche destiné à apporter un soutien fédéral à des projets de recherche à haut risque mais qui pourraient changer la donne.

La *Stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle* (2017) a pour objet d'engager des fonds en vue d'accroître le nombre de brillants chercheurs et de diplômés hautement qualifiés en intelligence artificielle. Le Canada aspire à être un acteur de premier plan dans le débat international sur l'impact potentiel de l'intelligence artificielle sur la société.

Le Canada s'est fixé comme objectif d'atteindre la neutralité carbone (zéro émission nette) à l'horizon 2050, l'étayant de jalons quinquennaux inscrits dans la législation. La sortie progressive du charbon est prévue d'ici à 2030, mais il faut s'attendre à une hausse de 50 % de la production de pétrole brut entre 2018 et 2040. Le Gouvernement prévoit d'instaurer

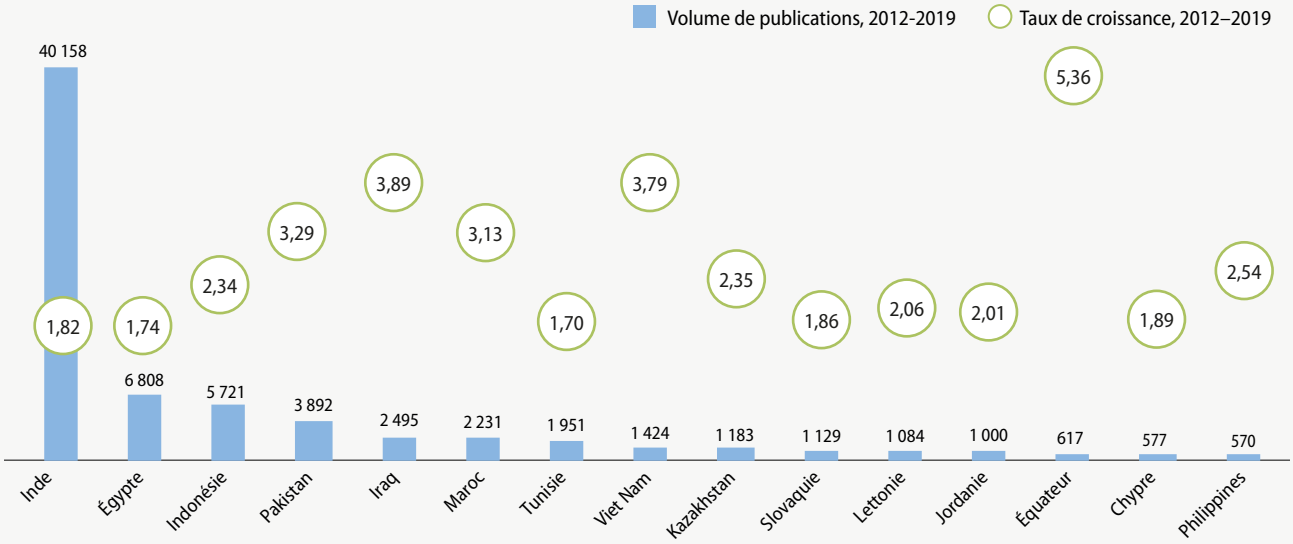
Figure 1.14 : **Tendances concernant les publications scientifiques sur l'énergie**

Part des publications mondiales sur l'énergie, 2011, 2015 et 2019 (%)
Parmi les pays dont la part était d'au moins 1,0 % en 2019 ;
les étiquettes de données concernent l'année 2019



Publications mondiales sur l'énergie
108 129
en 2019
86 771
en 2015
70 215
en 2011

15 premiers pays pour le taux de croissance des publications scientifiques sur l'énergie, 2012-2019
Parmi les pays ayant produit au moins 500 publications, classés par volume



Remarque : Le taux de croissance est calculé en divisant le nombre de publications de 2016-2019 par le nombre de publications de 2012-2015.

Source : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales ; traitement des données par Science-Metrix

une taxe de 50 dollars canadiens sur chaque tonne d'émissions polluantes de carbone d'ici à 2022.

Le Gouvernement a adopté en 2016 un *Plan de protection des océans* doté de 1,5 milliard de dollars canadiens. Le pays comptait près de 14 % des zones marines et côtières protégées en 2018, contre 1 % en 2015.

Le Canada a également mis au point un *Cadre stratégique pour l'Arctique et le Nord* (2019). L'agence fédérale Polar Knowledge Canada finance des projets de recherche novateurs pour appuyer l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets, notamment par le biais d'observatoires communautaires de recherche conjointe avec les communautés autochtones.

Aux **États-Unis d'Amérique** (chapitre 5), la priorité *America First* adoptée en 2017 a donné lieu à de nouveaux objectifs de politiques sectorielles, tels que la réduction du déficit des échanges de biens américains avec des partenaires commerciaux majeurs via l'imposition de droits de douane.

La bataille commerciale engagée avec la Chine depuis 2018 s'est étendue aux secteurs des hautes technologies, des transferts de technologie et de la protection de la propriété intellectuelle, générant un risque réel de découplage des deux pays en matière de technologies et de talents.

Plus généralement, les agences fédérales et les pouvoirs exécutif et législatif sont unanimes sur la nécessité pour les États-Unis de s'adapter à un environnement international de plus en plus concurrentiel.

Le Gouvernement fédéral a, par conséquent, accordé la priorité aux technologies numériques essentielles, cruciales selon lui pour la compétitivité économique et la cybersécurité des États-Unis, notamment l'intelligence artificielle, l'information quantique et la technologie des réseaux mobiles de pointe. Le premier *Plan stratégique national de recherche et développement sur l'intelligence artificielle* a été publié en 2016. Quatre ans plus tard, le Gouvernement fédéral a annoncé son intention de doubler d'ici à 2022 les investissements publics dans la recherche en information quantique et en intelligence artificielle par rapport à l'année de référence 2019.

Le secteur de l'espace a retrouvé son rang de priorité, tel qu'il ressort de la politique spatiale nationale de 2017. La NASA a fait partie des quatre seules agences bénéficiant d'un financement public en augmentation dans le projet de budget proposé pour 2021. Les partenariats public-privé avec la NASA ont joué un rôle déterminant dans le développement du secteur spatial privé.

La politique *America First* a conduit au retrait des États-Unis de plusieurs accords multilatéraux, dont *l'Accord de Paris*. Plusieurs États ont toutefois décidé de respecter l'engagement qu'ils avaient pris en faveur de l'action pour le climat et la nouvelle administration a fait revenir le pays dans *l'Accord de Paris* en février 2021.

Entre 2017 et 2019, le Gouvernement a annulé plus de 90 dispositifs de protection de l'environnement. Ces décisions, s'ajoutant aux progrès technologiques qui ont fait baisser le prix du gaz naturel et des énergies renouvelables, ont donné de l'élan au pétrole, au gaz naturel et aux énergies renouvelables qui ont profité de généreuses incitations fiscales et d'une hausse de 22 % du budget de la recherche du Ministère de l'énergie entre 2015 et 2020.

Bien que les soins de santé aient représenté environ 18 % du PIB en 2017, des problèmes d'accès et d'équité subsistent. Qui plus est, la part des soins de santé financés par les administrations fédérales, locales et des États devrait atteindre 47 % d'ici à 2028, ce qui représente une évolution non viable. La médecine de précision ouvre un vaste champ de possibilités thérapeutiques, mais s'accompagne aussi d'un accroissement des coûts de santé. Compte tenu de l'essor de la pharmacogénétique, les entreprises pharmaceutiques devront à l'avenir renforcer leur collaboration avec les géants des données.

En 2020, des examens antitrust indépendants ont été menés chez les cinq principaux géants du numérique face à l'inquiétude grandissante que suscitent leur pouvoir d'influence sur la société, l'économie et la politique.

La pandémie de COVID-19 a fait plus d'un demi-million de victimes dans la population des États-Unis. Malgré la pandémie, le nombre de nouvelles entreprises enregistrées est monté en flèche en 2020, alors même que le volume du capital-risque disponible pour les entreprises nouvellement créées a diminué.

Le coût des catastrophes naturelles ne cessant d'augmenter, la Communauté des Caraïbes (**CARICOM**, chapitre 6) a lancé des initiatives collectives audacieuses dans plusieurs domaines, comme la résilience climatique et l'innovation « verte ». En vue d'alléger le fardeau économique et écologique lié à l'importation de combustibles fossiles coûteux, le Fonds vert pour le climat soutient, par exemple, un projet de développement des ressources géothermiques sur huit ans en Dominique, à la Grenade, à Saint-Kitts-et-Nevis, à Sainte-Lucie et à Saint-Vincent-et-les Grenadines.

Le Guyana envisage d'exploiter les réserves de pétrole et de gaz offshore découvertes récemment par ExxonMobil dans le but de développer des sources d'énergie renouvelables. À cette fin, le Gouvernement a créé en 2019 un fonds souverain dont le financement provient, pour l'essentiel, des recettes pétrolières ; l'un des projets, mené avec l'appui du Centre de la Communauté des Caraïbes sur les changements climatiques, consiste à faire de la ville de Bartica un « modèle pilote de ville verte ».

Les cadres stratégiques sont étroitement alignés sur le *Programme de développement durable à l'horizon 2030,* mais leur mise en œuvre passe par des feuilles de route détaillées et des mécanismes de financement, de suivi et d'évaluation durables.

Les États membres ont adopté une *Stratégie numérique 2025 pour la CARICOM* et approuvé en 2017 une feuille de route visant à créer un *Espace TIC unique pour la CARICOM* dans l'optique de promouvoir un espace sans frontière utilisant les TIC. Étant donné la pénurie d'ingénieurs et la faible production scientifique dans le domaine des logiciels, la formation en sera une composante clé.

Si la croissance des publications scientifiques témoigne d'une culture de la recherche plus dynamique, l'accent mis actuellement sur la recherche dans le domaine de la santé

ne préparera pas les sociétés des Caraïbes aux économies numériques et vertes de demain.

L'absence quasi-totale de données sur la R-D pénalise la gestion scientifique aux niveaux national et régional. Elle a par exemple freiné la mise en œuvre du *Plan stratégique pour la Communauté des Caraïbes* (2015-2019). En 2018, la CARICOM a mis au point, avec le soutien de la Banque de développement des Caraïbes, un système de gestion axée sur les résultats pour guider la collecte, l'analyse et l'utilisation systématiques des données, ainsi que pour rendre compte des progrès accomplis vers l'intégration et le développement de la région.

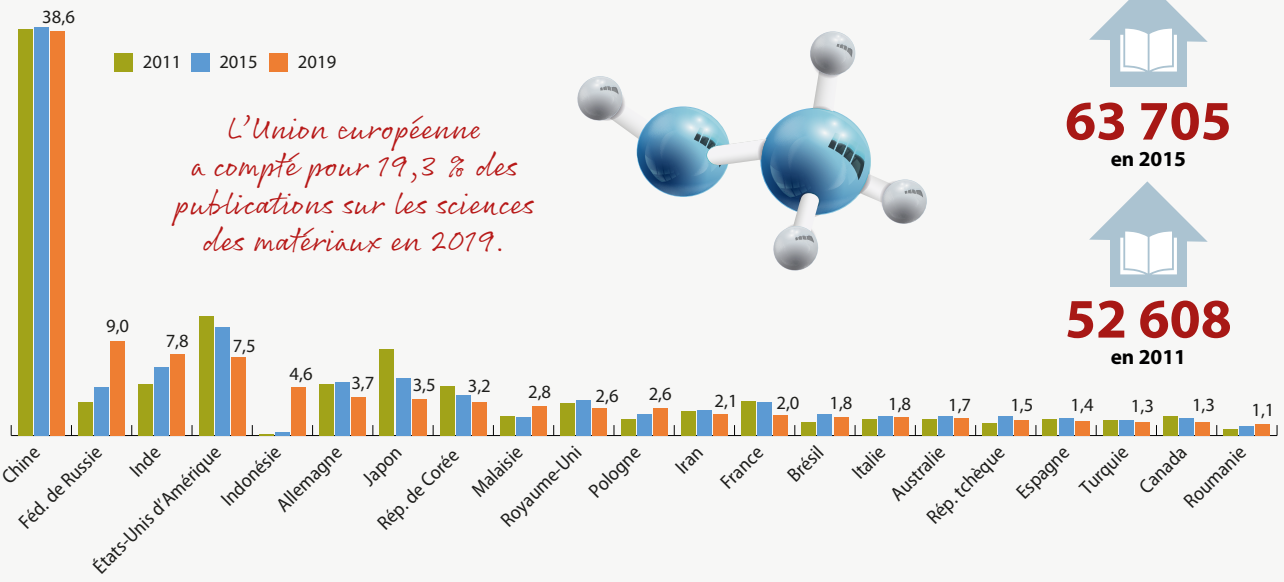
Considérant le besoin de soutien systémique et continu des entreprises innovantes, le nouveau programme jamaïcain visant à promouvoir l'innovation, la croissance et un écosystème entrepreneurial pourrait servir de modèle dans la région.

Pendant le boom des produits de base, les investissements en **Amérique latine** (chapitre 7) ont pour la plupart été destinés à l'expansion économique plutôt qu'au renforcement des infrastructures existantes ou au soutien de l'innovation et de la prise de risques.

La fin du boom des matières premières a, par conséquent, inauguré une période de stagnation de la croissance économique, doublée d'un déclin de l'intensité de la recherche chez les poids lourds régionaux que sont l'Argentine et le Mexique.

Figure 1.15: **Tendances concernant les publications scientifiques sur les sciences des matériaux**

Part des publications mondiales sur les sciences des matériaux, 2011, 2015 et 2019 (%)
Parmi les pays dont la part était d'au moins 1,0 % en 2019 ; les étiquettes de données concernent l'année 2019



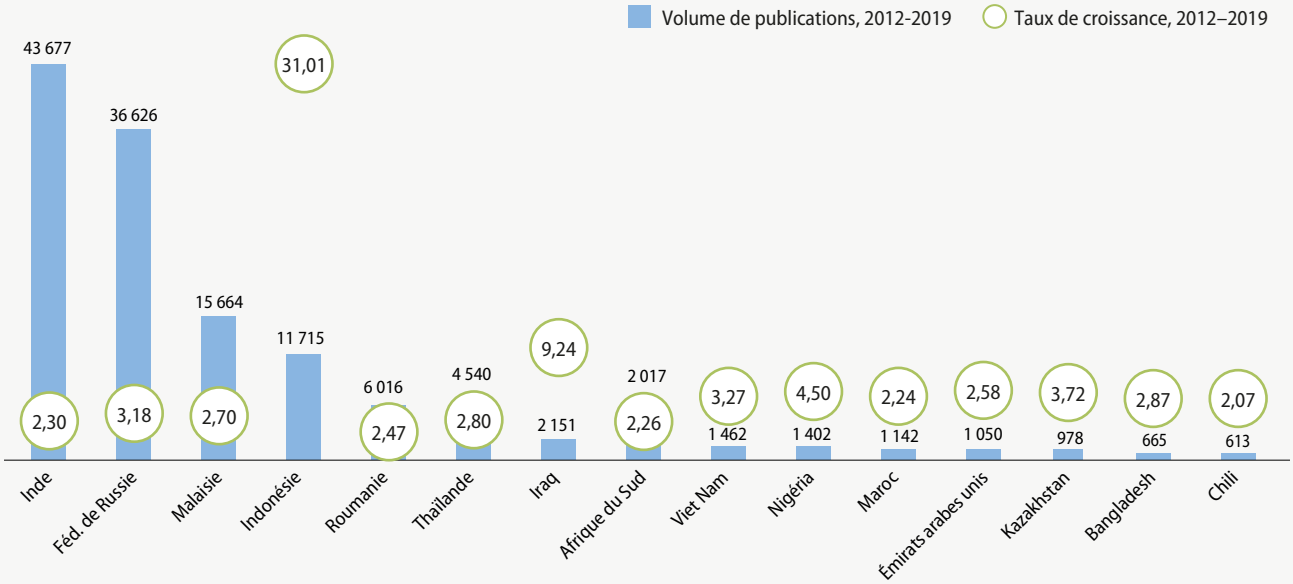
Publications mondiales sur les sciences des matériaux

93 033
en 2019

63 705
en 2015

52 608
en 2011

15 premiers pays pour le taux de croissance des publications scientifiques sur les sciences des matériaux, 2012-2019
Parmi les pays ayant produit au moins 500 publications, classés par volume



Remarque : Le taux de croissance est calculé en divisant le nombre de publications de 2016-2019 par le nombre de publications de 2012-2015.

Source: Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales ; traitement des données par Science-Metrix

L'idée d'un système d'innovation est désormais largement ancrée dans les politiques de STI. Pourtant, la demande de connaissances reste faible dans le secteur productif. Les entreprises latino-américaines implantées dans plusieurs pays (*multilatinas*) jouent un rôle plus important qu'auparavant, mais elles n'ont pas de liens étroits avec les systèmes d'innovation nationaux. Les multinationales qui possèdent des filiales dans la région ont tendance à utiliser les connaissances existantes plutôt qu'à se lancer dans la recherche locale.

Un nombre croissant de pays élaborent des politiques à l'échelle locale en s'appuyant sur l'expérimentation, au lieu d'adapter des politiques conçues à l'étranger. Ces politiques font une large place à l'innovation sociale au service du développement durable, de même qu'à l'intégration des systèmes de savoir locaux et autochtones.

Des changements de cap au niveau des politiques peuvent toutefois se produire et empêcher la planification à long terme. La confiance des investisseurs risque d'être ébranlée, et l'innovation ralentie. Il arrive aussi que des pays fassent marche arrière sur le principe d'une large participation publique au processus décisionnel.

La science de la durabilité devient progressivement un champ de recherche régional. Le programme Colombia Bio, par exemple, a pour but d'instaurer une culture du respect de la biodiversité ; il enrichit les rares données taxonomiques disponibles et encourage la bioprospection afin de favoriser le développement de produits et de services à haute valeur ajoutée.

Hormis Cuba et le Venezuela, tous les pays ont augmenté le nombre de publications scientifiques dans des revues réputées. Cette tendance s'explique en partie par l'amélioration de l'enseignement universitaire supérieur. La baisse de la production scientifique de Cuba est probablement imputable au rétablissement du blocus américain en 2017, qui a eu des effets néfastes sur les ressources du pays consacrées à la R-D, notamment les hausses de salaire prévues pour décourager l'exode des talents et des compétences après la levée des restrictions en matière de déplacements internationaux en 2012. Le Venezuela, quant à lui, est confronté à un exode important des compétences, plus de 3 millions de ses citoyens ayant migré vers la Colombie, le Pérou, l'Équateur et le Brésil en 2019.

Exemple d'une collaboration multilatérale active, le Système d'intégration de l'Amérique centrale (SICA) a renforcé la résilience face au changement climatique. En mai 2020, le SICA a signé avec le Centre de recherches pour le développement international du Canada un accord portant sur un projet de renforcement des capacités des organismes nationaux de recherche et d'innovation de l'ensemble des États membres en matière d'élaboration de politiques.

Au niveau régional, des initiatives ascendantes ont été lancées dans le domaine de la biotechnologie, des sciences de l'espace et de la science ouverte, entre autres.

Le **Brésil** (chapitre 8) a réalisé de nettes avancées ces cinq dernières années. Ainsi Sirius, l'une des sources de rayonnement synchrotron les plus sophistiquées, est en voie d'achèvement.

Par ailleurs, l'adoption des technologies numériques dans les administrations publiques comme dans les entreprises tend à se généraliser dans plusieurs secteurs tels que la santé, la banque et l'agriculture. Dans le domaine de l'e-santé, les mégadonnées médicales et l'intelligence artificielle sont utilisées pour développer des modèles prédictifs ainsi que de nouveaux médicaments.

La communauté scientifique brésilienne s'est aussi mobilisée rapidement au moment de l'épidémie du virus Zika entre 2015 et 2018 et durant la pandémie de COVID19 qui sévit depuis 2020.

Les pôles d'innovation technologique qui ont fleuri dans les universités ont eu en particulier des retombées bénéfiques sur les dépôts de brevets, la collaboration avec l'industrie et l'incubation de start-ups innovantes.

Autre élément positif, la part des énergies éolienne et solaire, des biocarburants et de la biomasse dans la production totale d'électricité a progressé, passant de 14,7 % à 19,5 % entre 2015 et 2018. L'éventail énergétique du Brésil est l'un des plus propres au monde, la part des énergies renouvelables s'élevant à 85 % de la production d'électricité en 2020, dont les deux tiers provenant de l'hydroélectricité.

En 2018, arguant de préoccupations d'ordre environnemental, le Gouvernement a annoncé la fin des projets de mégacentrales hydroélectriques en Amazonie. La succession de ruptures de barrage et la recrudescence des incendies de forêt en Amazonie et dans le Pantanal sont révélatrices des carences du système de surveillance de l'environnement et de prévention des catastrophes naturelles. Ces deux dernières années, un certain nombre de dispositifs de protection de l'environnement ont été abandonnés.

Plusieurs indicateurs alertent sur le système national d'innovation. Les investissements des entreprises sont globalement en baisse, tout comme la part consacrée à la R-D. Le nombre de dépôts de brevets par les entreprises diminue. Parallèlement, les organismes fédéraux de recherche ont enregistré une forte chute de leurs dépenses budgétaires. Le budget national de la recherche s'est contracté de 16 % entre 2015 et 2017. La part de la production industrielle dans le PIB et la participation du Brésil au commerce extérieur, notamment en qui concerne les biens manufacturés, sont également en recul.

À la mi-2020, le Gouvernement a publié son *Plan stratégique 2020-2030*, venant remplacer la *Stratégie nationale pour la science, la technologie et l'innovation 2016-2022* qui s'était largement inspirée du *Programme de développent durable à l'horizon 2030*. Même si le nouveau plan mentionne le développement durable comme étant un objectif primordial, la liste des indicateurs et des cibles correspondantes contient peu d'objectifs socioéconomiques et aucun d'ordre environnemental. L'approche intégrée de la planification de l'innovation avait été l'un des points forts de la politique brésilienne.

Le départ du Royaume-Uni de **l'Union européenne** (chapitre 9) en janvier 2020 ne changera rien à l'essence même du projet européen qui tend vers un renforcement de l'intégration.

La nouvelle stratégie de croissance du bloc européen qui est déclinée dans le *Pacte vert pour l'Europe* (2020) vise à accélérer la transition « verte » dans l'ensemble des cinq systèmes socioéconomiques (énergie, agroalimentaire, industrie manufacturière, transports et bâtiments-logement) en faisant converger la mobilisation de ressources et les réformes, réglementaires et autres.

Le but est d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050, tout en faisant en sorte de pouvoir recréer ailleurs les emplois perdus dans un secteur industriel donné. Le mécanisme pour une transition juste permettra d'accompagner les pays vulnérables dans la transition, notamment dans le cas de pertes massives d'emplois liées à l'abandon progressif d'une industrie polluante.

Les deux moteurs de cette transition seront la spécialisation intelligente par région et les nouvelles politiques axées sur la réalisation de missions, mises en œuvre au titre du programme-cadre Horizon Europe pour la recherche et l'innovation (2021-2027). Autre nouveauté, le Conseil européen de l'innovation est pleinement opérationnel depuis 2021 ; son rôle est de combler le déficit de financement des start-ups et des PME innovantes.

Le *Pacte vert pour l'Europe* va de pair avec la stratégie industrielle adoptée en mars 2021 qui met l'accent sur une double transition, écologique et numérique, tout en mettant à profit le marché unique pour établir des normes sociales et environnementales globales. Un nouveau cadre d'action est prévu pour définir des principes de durabilité pour tous les produits. L'Union européenne soutiendra également le développement de technologies clés, parmi lesquelles la robotique, la microélectronique, les chaînes de blocs, les technologies quantiques, la biomédecine, les nanotechnologies et les produits pharmaceutiques.

D'après la Commission européenne, guère plus d'une entreprise sur cinq s'est numérisée. Intitulée *Une Europe adaptée à l'ère du numérique* (2019), la stratégie européenne dans le domaine du numérique donne à toutes les entreprises, quelle que soit leur taille, la possibilité de « tester avant d'investir » dans les technologies numériques au sein de pôles d'innovation numérique grâce aux financements compétitifs offerts par le programme Horizon 2020 et son successeur, Horizon Europe. En février 2020, 16 pays avaient publié leur stratégie nationale en matière d'intelligence artificielle, et cinq autres en étaient à un stade de rédaction avancé.

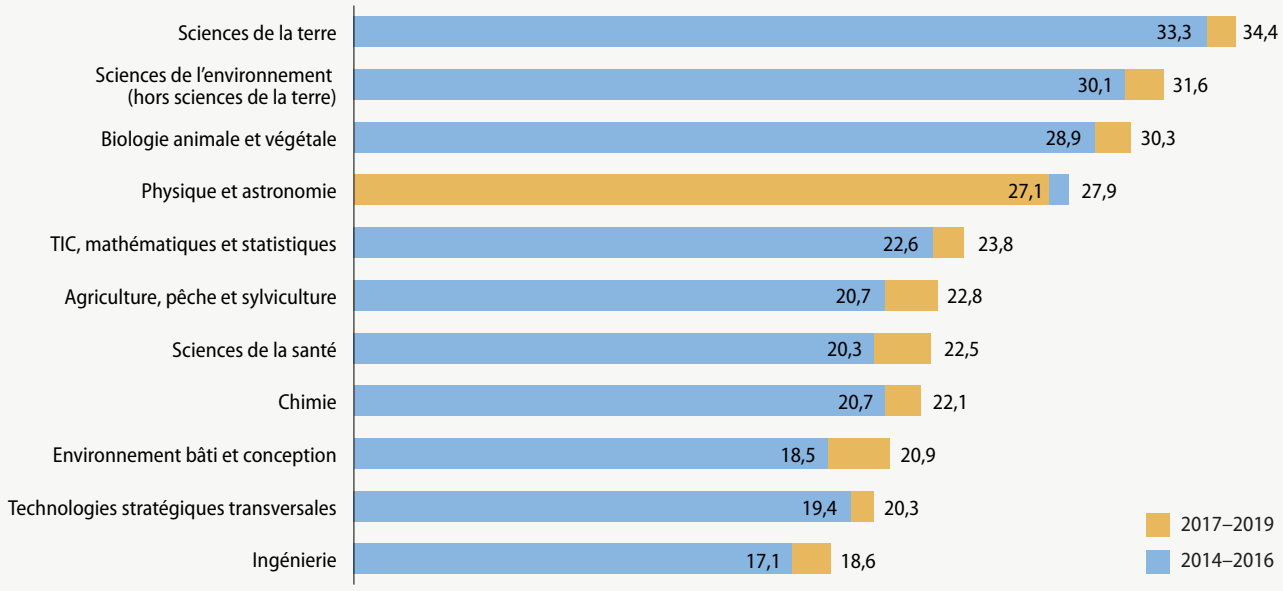
Le *Plan d'action en matière d'éducation numérique 2021-2027* entend préparer la main d'œuvre à l'économie numérique de demain et donner, à ce titre, une place accrue à l'apprentissage tout au long de la vie.

Quant à la nouvelle initiative « Universités européennes », elle a pour objet de créer des réseaux d'établissements d'enseignement supérieur de telle sorte que les étudiants puissent obtenir un diplôme en combinant des études dans plusieurs pays de l'Union européenne et renforcer, dans le même temps, leur sentiment d'identité européenne.

L'Union européenne a l'intention d'accroître son autonomie stratégique et son pouvoir de persuasion (*soft power*) dans les années à venir, en particulier par le biais de ses politiques dans les domaines du commerce, du numérique et de la défense.

Pour les pays d'**Europe du Sud-Est** (chapitre 10), intégrer l'Union européenne reste un objectif stratégique primordial. Quelques signes positifs se font jour : la région a dépassé le pourcentage de personnes hautement qualifiées dans la population active qu'elle s'était fixée, et elle est sur le point

Figure 1.16 : **Part des publications scientifiques impliquant une collaboration internationale par grand domaine, 2014-2016 et 2017-2019 (%)**



Source : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales ; traitement des données par Science-Metrix

d'atteindre son objectif concernant la balance commerciale et le taux d'emploi global.

Toutefois, les réformes économiques ont été privilégiées au détriment de l'élaboration de politiques de STI, entraînant une détérioration des capacités de recherche et portant un coup d'arrêt à l'adoption du modèle d'innovation axé sur la science de l'UE. En conséquence, l'exode des compétences vers des pays de l'UE demeure un problème chronique. Au sein même de l'Europe du Sud-Est, la *Stratégie régionale de recherche et développement des Balkans occidentaux pour l'innovation* (2013) n'a créé que très peu d'opportunités de coopération.

Cela dit, des efforts sont déployés depuis 2015 en vue d'un alignement sur l'Espace européen de la recherche. Chaque pays applique les directives de l'Union européenne relatives à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables et élabore des politiques énergétiques conformes au règlement européen (n° 525/2013) relatif à la surveillance des émissions de gaz à effet de serre. Les cinq pays d'Europe du Sud-Est non membres de l'UE ont essayé d'obtenir des financements de recherche dans le cadre du programme Horizon 2020.

En outre, les pays travaillent à l'élaboration de leur propre stratégie de spécialisation intelligente, qui est *de facto* un prérequis pour accéder à l'Union européenne. Le Monténégro a été le premier à y parvenir en 2019, suivi par la Serbie en 2020. Ces stratégies pourraient constituer le chaînon manquant pour des pays qui ont des difficultés à intégrer leurs centres de recherche et leurs secteurs économiques ; dans la région, les systèmes d'innovation tendent vers un modèle linéaire dépassé, et l'activité limitée du secteur des entreprises se traduit par un faible nombre de dépôts de brevets.

Certains signes indiquent que des politiques actives sont en train d'inverser cette tendance. La Serbie et l'Albanie ont, l'une et l'autre, mis en place des fonds d'innovation ; la Serbie a, quant à elle, ouvert son premier parc technologique en 2015, suivi de deux autres à Novi Sad et Nis en 2020.

Sur les quatre États membres de l'**Association européenne de libre-échange** (chapitre 11), tous, à l'exception du Liechtenstein, ont participé au programme de recherche Horizon 2020 de l'Union européenne. La Norvège et l'Islande devraient conserver le statut de « pays associé » avec son successeur, Horizon Europe. Le statut de la Suisse dépendra de l'issue des négociations qui sont en cours avec l'Union européenne sur un accord-cadre institutionnel global.

La Norvège, l'Islande et la Suisse nourrissent l'ambition audacieuse d'atteindre la neutralité carbone d'ici à 2030, 2040 et 2050, respectivement. La Norvège et l'Islande imposent une taxe carbone élevée et développent l'électrification des transports routiers. Par ailleurs, ces deux pays expérimentent des projets novateurs de captage et de stockage du carbone : l'un est le premier projet du genre à l'échelle industrielle, et l'autre, qui concerne le stockage de dioxyde de carbone dans des roches basaltiques souterraines, a été mené avec succès. Pour la Norvège, un défi important sera de concilier l'objectif de la neutralité carbone avec les plans visant à intensifier la prospection pétrolière.

Le *Plan d'action stratégique 2017-2019* de l'Islande est novateur. Il évoque l'industrie 4.0 et étend le concept de croissance économique à la « croissance de qualité ». Il met en avant le rôle que peut jouer la R-D pour garantir une « croissance de qualité » en tenant compte des possibles effets négatifs des technologies sur les futurs utilisateurs.

Les entreprises suisses investissent environ 7 % de leur chiffre d'affaires dans la R-D, soit le pourcentage le plus élevé au monde. Or, la majorité d'entre elles sont concentrées dans le secteur pharmaceutique et chimique. Si ces multinationales décidaient de délocaliser, la Suisse perdrait le coeur battant de son écosystème de recherche. Conscient de cette vulnérabilité, le pays a pris des mesures pour soutenir les start-ups et les PME, parmi lesquelles une réforme fiscale en faveur des entreprises fortement engagées dans la recherche et l'ouverture du Parc suisse d'innovation en 2016, accessible aux entreprises spécialisées dans des domaines tels que la fabrication de pointe, les bâtiments intelligents et la robotique.

Les entreprises suisses se tournent de plus en plus vers la recherche fondamentale, et la Suisse excelle dans l'obtention de subventions du Conseil européen de la recherche, reconnu dans le monde entier pour l'excellence de sa recherche fondamentale. Trouver un équilibre entre la recherche fondamentale et la recherche axée sur la réalisation de missions reste un défi pour l'ensemble des quatre pays.

Pour les sept **pays du bassin de la mer Noire** étudiés (chapitre 12), Arménie, Azerbaïdjan, Bélarus, Géorgie, République de Moldova, Turquie et Ukraine, l'économie numérique est un moteur de croissance. Les technologies de l'information représentent, par exemple, plus de 40 % des exportations de services de l'Ukraine. La création d'un « lieu de travail numérique » a été l'une des questions étudiées dans le document national de *Réflexion sur le développement d'une économie et d'une société numériques* portant sur la période 2018-2020.

Les pays de la région ont lancé différentes initiatives pour promouvoir l'innovation. L'Azerbaïdjan a, par exemple, créé en 2018 une Agence pour l'innovation qui offre un accès au capital-risque à des entreprises innovantes, notamment des start-ups. Le Bélarus est engagé depuis 2015 dans une réforme de son système national d'innovation. Plus de 90 actes juridiques liés directement ou indirectement à la RD avaient été délivrés en 2018. En 2016, le Gouvernement a regroupé ses 25 fonds d'innovation en un seul et unique Fonds républicain centralisé d'innovation, qui fonctionne comme un organisme public.

En dépit de ces efforts, ces pays peinent à stimuler l'expérimentation, le dynamisme et la création de nouveaux savoirs dans le secteur économique. Dans les pays post-soviétiques, les pratiques restrictives des structures oligarchiques empêchent de récompenser l'innovation.

En Turquie, les déséquilibres structurels touchent d'autres domaines. Des données récentes relatives aux entreprises montrent qu'au regard de leur taille, les entreprises fortement axées sur la technologie réalisent peu de travaux de R-D. Ce tableau contraste fortement avec l'importance considérable que l'État attache au soutien de l'innovation : selon l'Institut turc de statistique, les allègements fiscaux accordés aux entreprises à forte intensité technologique ont été multipliés par trois en devise locale entre 2015 et 2018. Pourtant, les

entreprises des secteurs du bâtiment et des services qui, en 2018, entraient pour 64 % dans le PIB, demeurent largement protégées de la concurrence et peuvent dès lors se permettre d'ignorer les programmes publics de soutien à la R-D et à l'innovation axée sur la fabrication.

Tous les pays, hormis le Bélarus, s'intègrent dans des structures et des réseaux européens. L'Arménie, la Géorgie et l'Ukraine se sont officiellement associées au programme Horizon 2020 de l'UE en 2015-2016. Les chercheurs ukrainiens et géorgiens ont soumis leurs premières propositions de projet au Conseil européen de la recherche respectivement en 2015 et 2017.

L'industrie géothermique turque a bénéficié d'un cadre réglementaire propice aux investissements des entreprises, ainsi que de l'expérience que les entreprises turques d'énergie géothermique ont acquise en participant au programme Horizon 2020 de l'UE au sein de consortiums. Entre 2009 et 2019, le nombre de centrales géothermiques en Turquie a grimpé de 3 à 49.

En **Fédération de Russie** (chapitre 13), l'économie demeure fortement tributaire du pétrole, du gaz, des métaux, des produits chimiques et des produits agricoles. Un décalage subsiste entre l'offre et la demande dans le domaine des connaissances scientifiques et des technologies.

La politique que mène le Gouvernement depuis 2015 témoigne de sa volonté de corriger ces déséquilibres structurels. Une illustration en est donnée par les 13 projets nationaux d'envergure prévus jusqu'en 2024, pour un financement total d'environ 26 000 milliards de roubles (équivalant à quelque 1 000 milliards de dollars PPA) sur six ans, qui mettent l'accent sur la collaboration entre scientifiques et industriels.

Les technologies quantiques et l'intelligence artificielle font partie des domaines prioritaires énoncés dans le Projet national « Économie numérique ». Ce dernier est complété par la *Stratégie nationale pour le développement de l'intelligence artificielle* qui couvre la période 2020-2030.

Le Projet national « Science » attribue un degré de priorité élevé au développement d'installations mégascientifiques et à l'émergence d'une « nouvelle géographie » de la science russe, de pair avec la mise en place de centres de recherche et d'éducation de classe internationale dans des régions déterminées. Le Gouvernement a, de même, reconnu la nécessité de promouvoir une culture de l'innovation dans les structures gouvernementales par le biais de formations spécialisées et de procédures de sélection stratégique.

Les grandes entreprises du secteur de l'énergie ont manifesté leur adhésion au Projet national « Écologie » du Gouvernement en investissant dans les technologies vertes, mais le recours aux énergies renouvelables est entravé par la gestion centralisée du secteur énergétique, le niveau élevé des prix à la consommation et la rigueur du climat. Néanmoins, la consommation de charbon et de produits pétroliers, en pourcentage du bilan énergétique et combustible, a légèrement baissé entre 2015 et 2018.

Confronté à la diminution du nombre de chercheurs, le Gouvernement a tenu l'engagement qu'il avait pris d'augmenter le niveau de rémunération des chercheurs d'ici 2018. Cette mesure a contribué à renforcer l'attrait de la profession auprès des chercheurs de moins de 39 ans.

L'Arctique revêt un intérêt stratégique non seulement pour la Fédération de Russie, mais aussi pour le Canada, la Chine, les États-Unis et l'Union européenne. Cette position en fait une plaque tournante de la diplomatie scientifique. Signé par la Fédération de Russie et sept autres États arctiques, *l'Accord sur le renforcement de la coopération scientifique internationale dans l'Arctique* (2017) vise, entre autres, à promouvoir l'inclusion des savoirs locaux et traditionnels.

Le sous-investissement chronique dans la R-D touche l'ensemble de l'**Asie centrale** (chapitre 14), aucun pays n'ayant consacré plus de 0,13 % du PIB à la RD en 2018. Il a engendré une série de défis systémiques qui freinent la recherche et l'innovation, parmi lesquels une crise des vocations au sein de la communauté des chercheurs et un exode des compétences.

Une autre source de difficultés tient au fossé culturel entre le monde des entreprises et le monde scientifique. Le désintérêt que montrent les entreprises à l'égard de la science se traduit par une absence de demande de technologies qui grève lourdement le budget de l'État. De son côté, la communauté scientifique, qui ne communique guère avec le secteur manufacturier, n'a qu'une vision lointaine des besoins de l'économie réelle.

Les droits de propriété intellectuelle mal protégés et les régimes fiscaux complexes, conjugués à l'absence d'abattements fiscaux et de prêts aux entreprises, sont autant d'éléments qui découragent l'innovation et accentuent le manque d'attractivité des entreprises innovantes auprès des investisseurs et des bailleurs.

Les États d'Asie centrale prennent des mesures pour surmonter ces obstacles. Ils aspirent à améliorer le climat de l'investissement pour les entreprises et à mettre l'innovation au service de la modernisation de l'industrie. L'Ouzbékistan a même inscrit le développement axé sur l'innovation au rang de ses priorités politiques.

De plus en plus de parcs technologiques bénéficient de régimes fiscaux avantageux. Les gouvernements s'efforcent aussi d'améliorer la condition des chercheurs par des mesures comme des augmentations de salaire, l'attribution de bourses de recherche par voie de concours, la modernisation des équipements de recherche et le lancement de projets de recherche conjoints avec des partenaires institutionnels dans des pays tels que le Bélarus, la Chine, l'Inde et la République de Corée.

La visibilité internationale des scientifiques et des ingénieurs est plus grande que par le passé. À titre d'exemple, le programme d'accélérateur international, « Start-up Kazakhstan », est ouvert à des participants de la Communauté d'États indépendants et d'Europe.

En outre, les gouvernements œuvrent de concert avec des partenaires internationaux pour un accès au financement vert. Face à la pénurie croissante de l'eau et au vieillissement des infrastructures énergétiques, ils investissent dans des programmes d'énergies renouvelables, comme les « ventes

aux enchères » d'énergie solaire au Kazakhstan et en Ouzbékistan ou la construction du barrage de Rogun au Tadjikistan. L'un des enjeux sera de concilier les demandes concurrentes d'innovation émanant du secteur minier, qui constitue le socle des économies des pays d'Asie centrale.

Les pays se lancent peu à peu dans l'économie numérique et l'e-gouvernance. L'initiative globale « Kazakhstan numérique » couvre un large éventail de secteurs, qui vont de l'énergie aux transports, en passant par la finance, les infrastructures, l'exploitation minière, l'agriculture et l'éducation. Que ce soit le Parc des technologies innovantes d'Alatau ou le Pôle d'innovation Tech Garden au Kazakhstan, tous deux adoptent les technologies de l'industrie 4.0.

Au Kirghizistan, les services publics numériques sont dans le viseur du Gouvernement à travers le programme Taza Koom (Nation intelligente). La jeunesse kirghize s'intéresse de plus en plus à la programmation informatique, comme en témoigne la progression récente des start-ups axées sur la technologie et des sociétés de logiciels.

L'**Iran** (chapitre 15) a enregistré une croissance exponentielle des entreprises et des start-ups axées sur le savoir. Cette tendance résulte de la hausse de la demande intérieure, qui s'ajoute à la multiplication des incubateurs et des accélérateurs technologiques observée depuis le lancement des premiers centres publics d'innovation dans le pays en 2015.

En 2020, le pays comptait 49 accélérateurs d'innovation financés par des capitaux privés et 113 centres d'innovation créés en partenariat avec des parcs scientifiques et de grandes universités. Dans le même temps, les incubateurs technologiques ont offert aux entrepreneurs diplômés des espaces de travail partagé et des ressources de mentorat sur les campus pour les aider à lancer leur propre start-up.

Le Gouvernement a encouragé les start-ups à se diversifier dans des domaines axés sur le savoir. Une série de lois et de politiques adoptées depuis 2015 a permis de lever les obstacles à la concurrence et de renforcer le système de soutien financier à l'innovation.

Les exportations de biens axés sur le savoir ont quintuplé entre 2014 et 2017, avant de s'effondrer en 2018 lorsque les États-Unis se sont retirés du *Plan d'action global commun* (2015), communément appelé accord sur le nucléaire, et ont réintroduit des sanctions, plaçant l'économie sous une pression considérable.

Cela dit, le rétablissement des sanctions a aussi incité les entreprises à faire appel aux fournisseurs locaux de biens et services axés sur le savoir. Le secteur des énergies renouvelables a fait partie des secteurs visés, mais, malgré les efforts déployés pour donner un coup de pouce à la fabrication et à l'emploi au niveau national, la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique ne dépasse pas 1 %.

Les mesures d'incitation du marché n'ont pas suffi à doper les investissements des entreprises dans la R-D, dont la part dans les dépenses nationales de recherche est tombé de 35 % à 28 % entre 2014 et 2016.

Il sera impératif, entre autres, d'adapter les programmes universitaires en fonction des besoins du marché du travail. En dépit de l'augmentation du nombre de titulaires d'un master ou d'un doctorat, le taux de chômage chez les détenteurs d'un diplôme universitaire est élevé (39 %).

Avec le plus grand nombre de start-ups par habitant au monde, **Israël** (chapitre 16) mérite bien son surnom de « pays des start-ups ». Rien qu'entre 2011 et 2019, plus de 6 000 start-ups y ont été créées.

Israël est le numéro un mondial en termes d'intensité de la recherche. En 2017, les multinationales et centres de recherche étrangers ont financé plus de la moitié des dépenses intérieures brutes de recherche, devant le secteur israélien des entreprises.

Une tendance quelque peu préoccupante est le taux croissant de transfert de propriété intellectuelle, de savoir-faire et de technologie d'Israël vers des centres de recherche étrangers. Les sociétés israéliennes détiennent moins de la moitié des brevets obtenus par des inventeurs israéliens.

L'industrie 4.0 est une priorité croissante, que ce soit dans l'esprit des start-ups ou, plus généralement, dans celui des pouvoirs publics. À travers l'initiative « Israël numérique », le Gouvernement investit massivement dans des technologies telles que l'intelligence artificielle, la science des (méga) données, la mobilité intelligente et l'e-gouvernance. L'objectif est de mettre à profit l'expertise israélienne en matière de technologies numériques pour accélérer la croissance, améliorer l'inclusion et renforcer la gouvernance.

Les universités israéliennes ont instauré des programmes d'enseignement et établi des centres de recherche axés sur des domaines de pointe, comme le Centre d'études sur l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle à l'Université hébraïque de Jérusalem.

Cet accent mis sur l'innovation et la technologie se retrouve dans la politique industrielle. Le *Plan national stratégique pour la fabrication de pointe dans l'industrie* (2018) élaboré par le Gouvernement expose les grandes lignes d'un cadre pour l'investissement, le développement des compétences, le renforcement des infrastructures et l'élargissement de l'accès au savoir, en particulier pour les PME. Ces 10 dernières années ont vu naître un secteur technologique automobile dynamique, grâce au soutien financier de l'initiative sur les choix de carburants et la mobilité intelligente lancée en 2010. Aujourd'hui, on recense 25 centres de recherche dans le secteur automobile.

Cependant, la baisse de la qualité et de la quantité d'eau douce en Israël rend impératif un changement de cap en matière de gestion de l'eau. Si la consommation d'eau dessalée augmente, elle s'accompagne d'une carence en magnésium dans le régime alimentaire des consommateurs et de l'intrusion d'eau salée dans les aquifères.

Loin d'être un luxe, le développement durable est une nécessité. Prenant la pleine mesure du message, les responsables des politiques ont intégré les Objectifs de développement durable dans la planification stratégique du Gouvernement en 2019.

Malgré leurs différences socioéconomiques, les **États arabes** (chapitre 17) partagent des priorités communes. Pénurie d'eau, érosion des sols et dégradation de l'environnement constituent des défis de taille que de plus en plus de gouvernements s'emploient à relever en recourant à des solutions fondées sur la science, telles que l'horticulture hors sol, le dessalement et les centrales solaires à grande échelle.

Les pays investissent dans des centres urbains durables et de haute technologie. L'Égypte a, par exemple, défini un ensemble de principes de durabilité qui s'applique à ses nouvelles villes, parmi lesquels un seuil minimum de superficie par habitant et l'installation de panneaux solaires.

Les pays arabes cherchent à développer leur secteur manufacturier, notamment dans des activités de haute technologie comme l'aéronautique, la biotechnologie agricole et l'industrie spatiale. Ils n'en demeurent pas moins tributaires des importations de produits technologiques et des partenariats avec les leaders de la technologie spatiale.

Tirer parti de la quatrième révolution industrielle est explicitement reconnu comme une priorité. L'Arabie saoudite et les Émirats arabes unis ont adopté des stratégies nationales en matière d'intelligence artificielle. Leur emboîtant le pas, l'Algérie, l'Égypte et la Tunisie ont d'ores et déjà élaboré des plans en ce sens. Le Maroc a quant à lui mis en place un programme de recherche consacré à l'intelligence artificielle.

Les États du Golfe ont été parmi les premiers au monde à lancer des réseaux 5G commerciaux. L'Arabie saoudite a ouvert un Centre pour la quatrième révolution industrielle, et les Émirats arabes unis s'efforcent d'intégrer la technologie de la chaîne de blocs dans les opérations et services publics.

Un défi sera de doter les systèmes éducatifs des capacités nécessaires pour former une main d'œuvre qualifiée endogène, en particulier une masse critique de techniciens compétents dans l'industrie 4.0. Il apparaît que les systèmes d'enseignement secondaire ne sont pas aussi efficaces que dans les pays voisins.

Ces cinq dernières années, l'enseignement supérieur a été en forte expansion, mais, malgré le financement public généreux dont ont bénéficié les universités, la part allouée à la R-D reste faible dans la plupart des pays. Par conséquent, les pays arabes ne développent ni n'exportent que rarement des technologies innovantes. Même les économies les plus prospères de la région dépendent massivement de l'importation d'intrants technologiques prêts à l'emploi. Il semble même que s'amorce depuis quelques années un ralentissement du transfert de technologies. Cela donne à penser qu'il faut privilégier la création de communautés de recherche endogènes dont la production est fonction de la demande de la société.

Faute de dispositifs de collecte et d'analyse régulières des données, de nombreux pays manquent d'éléments d'information permettant d'éclairer leurs politiques. De surcroît, les enquêtes existantes sur la R-D ne prennent généralement pas en compte le secteur des entreprises, qui reste ainsi dans l'angle mort des politiques. L'élaboration d'un Tableau de bord des pays arabes pour l'innovation est prévue, mais ne s'est pas encore concrétisée.

Exposés à des conditions météorologiques de plus en plus capricieuses qui mettent en péril la sécurité alimentaire, les pays de l'**Afrique de l'Ouest** (chapitre 18) développent une expertise en climatologie grâce à un soutien international. La Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) a, par exemple, noué un partenariat avec le Gouvernement allemand pour la création du Centre ouest-africain de service scientifique sur le changement climatique et l'utilisation adaptée des terres, qui comprend un programme de recherche sur le climat, un programme d'études de troisième cycle et des réseaux d'observation.

Alors que se profile à l'horizon la zone de libre-échange continentale africaine, les pays se lancent dans une course à la restructuration de leur économie. Au Sénégal, le Fonds souverain d'investissements stratégiques (FONSIS, datant de 2012) utilise les revenus du pétrole et du gaz pour investir dans des fonds de capitaux à destination des PME de secteurs prioritaires tels que l'énergie solaire, l'agriculture et la santé. La SOGENAS, l'une de ses filiales, est spécialisée dans la production et la commercialisation de vaches laitières génétiquement modifiées pour pouvoir résister à un climat chaud et sec.

Le marché des produits d'origine végétale présente un potentiel considérable. En Côte d'Ivoire, l'Université Félix Houphouët-Boigny développe des biopesticides à base de plantes et des produits phytomédicaux à bas prix pour le marché africain.

Le Burkina Faso (10), le Ghana (36), la Côte d'Ivoire (30), le Nigéria (101), le Mali (11), le Sénégal (22) et le Togo (21) abritent un nombre croissant de pôles technologiques, mais la quasi-absence d'investisseurs providentiels locaux et de capitaux d'amorçage reste un défi pour les start-ups.

Dans le cadre de leurs programmes de développement numérique, plusieurs pays, comme Cabo Verde, la Gambie, le Ghana, le Nigéria et le Sénégal, se préparent en attendant le jour où la plus grande partie du commerce intra-africain se fera via l'Internet, notamment grâce à la création de centres de données locaux.

Plus de la moitié de leur population étant âgée de moins de 20 ans, les gouvernements investissent dans les universités physiques et virtuelles de façon à pouvoir répondre à la demande croissante d'enseignement supérieur. Le Burkina Faso s'inspire du modèle sénégalais pour créer sa propre université virtuelle.

Neuf pays sur 15 sont désormais dotés d'une véritable politique de STI, mais seuls cinq d'entre eux ont communiqué des données récentes sur les tendances en matière de recherche.

La *Politique sectorielle de la recherche et de l'innovation (2018-2027)* du Burkina Faso a introduit le concept de « programmes fédérateurs de recherche » menés en collaboration avec d'autres ministères dans le but d'améliorer leur mise en œuvre. Les Ministères de la santé et de l'agriculture dirigent l'un et l'autre un programme en partenariat avec le Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche scientifique et de l'innovation. Le Gouvernement a, par ailleurs, porté la part des dépenses de recherche à 0,61 % du PIB avant d'être contraint de réaffecter ces crédits à la sécurité nationale à la suite d'une vague d'attentats terroristes en 2019.

Les pays d'**Afrique centrale et orientale** (chapitre 19) mettent à profit l'expansion des infrastructures de télécommunications pour mettre en place l'e-gouvernance en vue d'améliorer les services publics et de faciliter les échanges dans la perspective de la future zone de libre-échange continentale africaine. Ce projet vient s'ajouter aux efforts déployés pour réduire le coût des télécommunications, assurer une meilleure distribution de l'électricité et développer les routes, les chemins de fer, les aéroports et les ports.

L'Éthiopie a créé l'Académie ferroviaire africaine, avec pour mission de former les ingénieurs qui prendront le relais de l'exploitation de la ligne ferroviaire entre Addis-Abeba et Djibouti construite par des partenaires chinois, lorsque ces derniers se retireront en 2023.

Des efforts considérables sont déployés pour la mise en œuvre de projets à plus ou moins grande échelle de centrales hydroélectriques, de parcs solaires et éoliens et de centrales géothermiques. Le Grand barrage de la Renaissance en Éthiopie est en voie d'achèvement. Au Kenya, l'énergie géothermique alimente désormais 35 % des foyers.

L'agriculture intelligente face au climat, l'agroécologie, la protection de la biodiversité, la médecine et la gestion de l'eau sont au cœur de la mission des centres d'excellence établis en 2017 en Éthiopie, au Kenya et en Ouganda dans le cadre d'un projet de la Banque mondiale. En Éthiopie, l'un de ces centres est spécialisé dans la mise au point de médicaments innovants. L'Éthiopie abrite depuis 2016 le Centre africain de prévention et de contrôle des maladies et prévoit de développer une industrie pharmaceutique.

Quant aux centres d'excellence de la Banque mondiale implantés au Rwanda (2017), ils se concentrent sur la recherche énergétique, les mathématiques, l'Internet des objets et la science des données. Le Rwanda accueille également sur son territoire l'Institut de recherche fondamentale de l'Afrique de l'Est, créé en 2018 au titre d'un projet mené en collaboration avec le Centre international Abdus Salam de physique théorique de l'UNESCO ; son champ de recherche et d'enseignement s'étend aux domaines liés à l'intelligence artificielle.

Cinq des 15 pays disposent de véritables politiques de STI : Burundi, Éthiopie, Kenya, Ouganda et Rwanda. Un grand nombre de pays sont dotés de politiques de STI plus implicites, notamment relatives à l'énergie, à l'éducation ou à l'économie numérique. C'est le cas par exemple de la *Politique d'intégration des TIC dans l'éducation* (2016) au Rwanda, du *Plan stratégique Cameroun numérique 2020* (2017) au Cameroun, de la *Stratégie nationale 4IR* (2020) de l'Ouganda et de la *Politique énergétique* (2019) du Tchad qui insiste sur le potentiel en énergies renouvelables que recèle le pays.

En Afrique subsaharienne, c'est le Cameroun qui enregistre le plus grand nombre de publications par million d'habitants dans le domaine de l'intelligence artificielle et de la robotique, ainsi que dans des domaines liés à l'énergie ; dans ces deux domaines, l'intensité de publication du Cameroun est même quatre fois supérieure à celle de l'Afrique du Sud.

En 2019, le Cameroun comptait 28 pôles technologiques en activité. Dans les autres pays d'Afrique centrale, leur nombre dépasse rarement cinq. L'économie de ces pays étant encore trop tributaire du pétrole et d'autres matières premières, la nécessaire diversification économique s'en trouve retardée.

Au total, on dénombrait, en 2020, 166 pôles technologiques opérationnels dans 12 pays d'Afrique centrale et orientale. Le Kenya à lui seul en abrite quatre sur dix (42 %). Il est important que les gouvernements soutiennent le dynamisme de cet écosystème de start-ups, notamment en faisant en sorte que l'enregistrement de la propriété intellectuelle par les inventeurs africains soit facilité et moins onéreux.

En **Afrique australe** (chapitre 20), si le secteur des services domine l'économie, c'est le secteur manufacturier qui est présenté comme un moteur clé de croissance.

Des dispositifs ont été mis en place pour faire progresser l'intégration. Un Fonds de développement régional a été établi en 2017, et le projet de Protocole relatif à l'industrie prévoit de doter le Secrétariat de la Communauté de développement de l'Afrique australe (SADC) d'un mandat juridique pour la mise en œuvre de programmes industriels régionaux. Bien qu'une zone de libre-échange ait été instituée en 2008, tous les pays membres n'y participent pas.

Plusieurs pays, dont Madagascar et la Namibie, étudient les possibilités de mettre à profit l'e-gouvernance pour améliorer l'offre de services publics et faciliter l'activité entrepreneuriale. Cependant, l'absence de concurrence du secteur privé a rendu les services numériques inabordables pour bon nombre de citoyens et d'entreprises, même si la couverture géographique des infrastructures de communication a été élargie.

L'Afrique du Sud est le seul pays à afficher de bons résultats en termes de nombre de brevets. Le Malawi et la Namibie, quant à eux, ont pris des mesures pour renforcer leur régime de propriété intellectuelle. Votée en 2018, la législation de l'Eswatini portant création d'un tribunal de la propriété intellectuelle n'avait toujours pas été suivie d'un décret d'application l'année suivante. En 2018, les ministres ont adopté le *Cadre régional de principes directeurs de la SADC en matière de propriété intellectuelle* afin de promouvoir la coopération mutuelle en matière de réforme des régimes nationaux de propriété intellectuelle.

Depuis 2010, la moitié des pays[13] ont publié des politiques de STI explicites. D'autres, parmi lesquels la République démocratique du Congo, le Malawi, le Lesotho, la Tanzanie et la Zambie, comptent développer ou actualiser leurs propres stratégies.

Seules Maurice, les Seychelles et l'Afrique du Sud ont un taux d'électrification supérieur à 50 %. Depuis l'ouverture en 2015 par la SADC d'un Centre pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique en Namibie, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité de la région est passée de 24 % à 39 % (2018).

Grâce aux partenariats noués, entre autres, avec la Banque africaine de développement, la Banque mondiale et d'autres organismes, les pays développent des solutions réseau ou hors réseau en matière d'électricité. En République démocratique du Congo, l'impact social et environnemental du gigantesque projet de construction du barrage Grand Inga a suscité des inquiétudes.

En Zambie, l'hydroélectricité a représenté environ 81 % de la capacité de production installée en 2019, mais cette ressource apparaît de moins en moins fiable à cause du niveau insuffisant des précipitations. En 2019, le Gouvernement a mis en place un système de tarif de distribution pour les projets de centrales solaires et hydroélectriques à petite échelle. En 2020, il a adopté une *Politique nucléaire nationale* visant à réduire la dépendance à l'égard de l'énergie hydroélectrique.

Suite à de graves épisodes de sécheresse ou d'inondation, les pratiques d'agriculture intelligente face au climat ont reçu une priorité accrue dans les politiques publiques. Le *Plan d'investissement en faveur de l'agriculture intelligente face au climat* (2019) de la Zambie prévoit que le rendement des principales cultures pourrait diminuer de 25 % en raison du changement climatique, mais, surtout, que l'agriculture intelligente face au climat pourrait augmenter de 23 % le rendement des cultures.

L'Afrique du Sud conduit le développement d'une plate-forme africaine pour une science ouverte en vue de faciliter la collaboration internationale et la recherche à forte concentration de données. Elle abrite également le plus grand télescope du monde, le *Square Kilometre Array* (SKA, « Réseau d'un kilomètre carré »). Elle recèle un immense potentiel pour stimuler la mobilité scientifique, ainsi que la collaboration et les applications scientifiques intra-africaines dans des domaines tels que l'intelligence artificielle et les mégadonnées.

Les pays d'**Asie du Sud** (chapitre 21) sont les principaux bénéficiaires des prêts accordés dans le cadre de l'initiative chinoise « Une Ceinture, une Route » (*Belt and Road*) pour le financement de grands projets de rénovation d'infrastructures. Programme phare, le corridor économique Chine-Pakistan porte sur le développement des infrastructures, notamment des routes, ports et centrales alimentées au charbon et au mazout.

L'effort de développement des infrastructures et d'industrialisation est souvent mené parallèlement aux activités de recherche et développement. Du fait de l'insuffisance des crédits alloués à la RD, la région compte largement sur l'expertise et les technologies scientifiques étrangères.

Le Bangladesh, le Népal, le Pakistan et Sri Lanka sont tous dotés de véritables politiques de STI, mais l'absence d'instruments adéquats en freine la mise en œuvre. Compte tenu du niveau modeste des budgets publics de la recherche et du vivier limité de chercheurs, il est également à craindre que la répartition des fonds entre des centres de recherche couvrant des domaines variés ne soit qu'un saupoudrage.

L'une des priorités est de favoriser le transfert de technologies vers les PME. À Sri Lanka, par exemple, le *Cadre stratégique national pour le développement des PME* (2016) est assorti d'un fonds national pour le développement des technologies qui est cofinancé par l'État et le secteur privé.

Au Bangladesh, au Pakistan et à Sri Lanka, les industries pharmaceutiques ont des capacités potentielles, mais restent tributaires des importations de matières premières. Au Bangladesh, le parc industriel de Munshiganj consacré à la fabrication d'ingrédients pharmaceutiques actifs devrait être opérationnel en 2023. Il permettra aux entreprises de produire les principaux composants chimiques des médicaments et, par là même, de réduire le coût des médicaments produits dans le pays et de renforcer leur compétitivité internationale.

À Sri Lanka, les exportations de produits pharmaceutiques marquaient le pas depuis 2016, mais la crise de la COVID-19 ayant stimulé la demande, les secteurs public et privé ont investi 30 millions de dollars des États-Unis dans une nouvelle usine de fabrication de produits pharmaceutiques en 2020.

Des économies numériques font leur apparition. Le Bhoutan, par exemple, possède aujourd'hui un laboratoire de fabrication pour les développeurs de projets numériques. Le Pakistan compte plusieurs « licornes technologiques », ces start-ups évaluées à plus d'un milliard de dollars des États-Unis. Face à cet essor, des gouvernements ont mis au point des projets d'infrastructures « intelligentes », comme des villes et des écoles. L'un des défis sera de veiller à la prise en compte des principes de durabilité dans ces projets.

En 2016, face à l'augmentation du coût des importations de combustibles fossiles, conjugué à une baisse des précipitations compromettant la viabilité de l'hydroélectricité, Sri Lanka a lancé un projet communautaire (*Soorya Bala Sangramaya,* qui signifie bataille pour l'énergie solaire) destiné à promouvoir l'installation de petites centrales solaires sur le toit des habitations et des entreprises grâce à des partenariats public-privé.

En **Inde** (chapitre 22), en 2015, le Gouvernement a lancé le programme « Inde numérique » visant à transformer l'écosystème des services publics. La technologie de la chaîne de blocs est désormais largement intégrée au sein du Gouvernement central.

En 2016, le Gouvernement s'est engagé dans l'une des initiatives économiques les plus audacieuses des temps modernes en démonétisant deux des plus gros billets de banque en circulation dans le but de réduire l'ampleur de l'économie informelle. Le Gouvernement a ensuite porté son attention sur la création d'une économie entièrement sans numéraire. La proportion d'Indiens titulaires d'un compte bancaire est passée de 53 % à 80 % entre 2014 et 2017. Ces changements sont intervenus sur fond de forte croissance de l'accès à l'Internet, qui a agi comme accélérateur de l'économie numérique, notamment du commerce en ligne.

Le programme phare « Fabriquer en Inde » (*Make in India*) a cherché à stimuler les investissements dans le secteur manufacturier et les infrastructures connexes. Tout en ayant sans doute permis d'améliorer l'environnement entrepreneurial, il n'a pratiquement pas eu d'impact tangible sur le secteur manufacturier lui-même. Depuis la crise de la COVID-19, le secteur manufacturier développe des technologies « frugales » (à bas coût), notamment des respirateurs.

Les start-ups, qui ont vu leur nombre s'envoler depuis 2016 suite à l'initiative « *Start-up India* », n'en restent pas moins concentrées dans le secteur des services en général, et dans celui du développement de logiciels en particulier.

L'intensité globale de la recherche continue de stagner et, en dépit d'une légère progression, la densité de scientifiques et d'ingénieurs demeure l'une des plus faibles des pays du groupe BRICS.

Le Gouvernement a réduit les incitations fiscales pour les entreprises engagées dans des activités de R-D, ce qui va dans le sens du constat de la précédente édition du *Rapport de l'UNESCO sur la science* (2015) selon laquelle, malgré le régime fiscal, « la culture de l'innovation ne s'est pas répandue au sein des entreprises et de l'industrie ». Les produits pharmaceutiques et les logiciels continuent de représenter la majorité des brevets. Bien que l'activité des inventeurs indiens ait explosé, les multinationales étrangères détiennent encore la plus grande partie des brevets.

La situation de « croissance non créatrice d'emplois » qui pèse sur l'Inde depuis 1991 a empiré. Qui plus est, en 2017, le pays a, pour la première fois depuis l'indépendance, enregistré une contraction de sa population active.

La faible employabilité des diplômés de l'enseignement supérieur, y compris dans les filières STIM, est une préoccupation supplémentaire, même si cet indicateur a progressé entre 2014 et 2019. L'ambitieuse Mission nationale pour le développement des compétences vise à former quelque 400 millions d'Indiens au cours de la période 2015-2022.

En 2018, les investissements ont été plus élevés dans les énergies renouvelables que dans les combustibles fossiles. Les efforts de l'Inde sont considérés comme compatibles avec l'objectif de 2°C, mais insuffisants pour parvenir à la cible de 1,5°C fixée par l'*Accord de Paris*.

Le Gouvernement compte accroître de 46 GW la capacité de production au charbon d'ici à 2027, même si d'autres projets de centrales à charbon ont été annulés en 2017 après avoir été jugés non rentables.

La pollution de l'air et de l'eau reste une menace pour la vie humaine en Inde. Le Gouvernement s'efforce d'accélérer l'électrification universelle et la diffusion de véhicules électriques et hybrides.

En **Chine** (chapitre 23), le plan *Made in China 2025* (2015) vise à aider 10 industries stratégiques à réduire la dépendance du pays à l'égard de certaines technologies de base étrangères par le biais de subventions publiques, de la mobilisation d'entreprises d'État et de l'acquisition de propriété intellectuelle. Voitures électriques, ingénierie aérospatiale, biomédecine, robotique de pointe et intelligence artificielle font partie de ces secteurs manufacturiers d'avant-garde.

La Chine nourrit le dessein d'être « le premier centre mondial pour l'innovation en matière d'intelligence artificielle » d'ici à 2030. Déjà en tête du classement mondial des détenteurs de brevets d'intelligence artificielle, elle manque toutefois de talents de premier ordre dans ce secteur. Le Gouvernement a donc lancé des programmes titanesques à l'horizon 2030 dans le domaine des sciences et de l'ingénierie, notamment de l'informatique quantique et des neurosciences.

La haute technologie, le transfert de technologies et la protection de la propriété intellectuelle font partie des points qui cristallisent les tensions dans la guerre commerciale que se livrent actuellement la Chine et les États-Unis. La loi sur les investissements étrangers (2020) vise à faciliter le commerce avec la Chine.

Les industries stratégiques chinoises aspirent elles-mêmes à bénéficier d'une plus grande protection de leur propriété intellectuelle de la part du Gouvernement. La loi sur la protection contre la concurrence déloyale, modifiée en avril 2019, et la loi sur les brevets de 2020 offrent une meilleure protection des secrets commerciaux et des droits des titulaires de brevets, respectivement. La Chine a par ailleurs institué ses premiers tribunaux spécialisés dans la propriété intellectuelle.

La loi sur la promotion de la transformation des réalisations scientifiques et technologiques (1993), dite loi Bayh-Dole à la chinoise, a été révisée en 2015 afin d'appuyer le transfert de technologies des universités et des instituts publics de recherche vers l'industrie. Cela devrait encourager les organismes publics aux niveaux central et local et les entreprises à investir davantage dans la recherche fondamentale qui, en 2018, ne représentait que 6 % des dépenses intérieures brutes en recherche et développement (DIRD).

La Chine s'est fixé pour objectif d'atteindre la neutralité carbone en 2060. Pour parvenir aux 20 % de consommation de sources d'énergie non fossiles d'ici à 2030, elle développe le nucléaire, l'hydroélectricité, l'éolien et le solaire. En parallèle, le nombre d'autorisations de construction de nouvelles centrales à charbon est en augmentation depuis 2019.

Le Gouvernement incite les compagnies chinoises à s'engager dans une coopération scientifique avec des pays partenaires de l'initiative « Une Ceinture, une Route » (*Belt and Road*). La série d'orientations adoptée en 2017 entend placer cette initiative sur une trajectoire « plus verte ».

À la suite de l'apparition de la COVID-19 dans la ville de Wuhan, le Congrès national du peuple a pris en février 2020 des mesures pour restreindre le commerce d'animaux sauvages et interdire la consommation de gibier et la vente d'animaux sauvages d'élevage sur les marchés, comme les civettes.

Le **Japon** (chapitre 24) est aux prises avec un ensemble de défis structurels relativement unique en son genre. Le rétrécissement du marché japonais consécutif au vieillissement de la population conduit les entreprises à acheter des entreprises à l'étranger pour ainsi « acheter du temps et de la main d'œuvre ». Par conséquent, les investissements désertent le Japon, laissant peu à peu le tissu industriel du pays se désagréger. Pour couronner le tout, le niveau des flux d'investissements extérieurs reste bas, ce qui laisse penser que l'environnement entrepreneurial perd peut-être de son attractivité à l'étranger.

Pour relever ces défis, le Gouvernement a lancé en 2017 un plan pour une société super-intelligente, baptisé « Société 5.0 ». Pièce maîtresse de la nouvelle stratégie de croissance du pays, ce plan prévoit une évolution vers un système socioéconomique inclusif et durable s'appuyant sur les technologies numériques, notamment l'intelligence artificielle et la robotique. Le déploiement de véhicules autonomes et de drones permettrait, par exemple, d'assurer des services clés,

tels que services postaux et soins aux personnes âgées, à des localités dépeuplées. Un projet « d'agriculture intelligente » est à l'étude pour pallier la pénurie de main d'œuvre. L'intelligence artificielle est déjà utilisée pour améliorer la préparation et les interventions en cas de catastrophe.

La hausse du prix de l'électricité dans l'industrie pose un grave défi. Au lendemain du grand tremblement de terre survenu dans l'Est du Japon en 2011, les centrales nucléaires ont été contraintes de suspendre leur activité de manière à permettre des inspections et des mises à niveau tout au long de la période 2013-2015. Pour compenser, le pays a accru ses importations de pétrole, de gaz et de charbon, et son taux d'autosuffisance a baissé. Depuis 2016, le Gouvernement remet en route ses réacteurs nucléaires pour renforcer sa sécurité énergétique. Les projets de construction de nouvelles centrales à charbon pourraient compromettre la réalisation des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre. La préfecture de Fukushima, pour sa part, prévoit d'être entièrement alimentée par des sources d'énergie renouvelable d'ici à 2040.

La baisse des dépenses publiques de recherche reflète un contexte budgétaire tendu. L'industrie a été le seul secteur à enregistrer une progression des dépenses de recherche entre 2014 et 2017 et, en particulier, une forte croissance des dépenses dans le domaine de l'espace, dans la mesure où les entreprises se tournent de plus en plus vers le « business spatial ».

En 2019, le Gouvernement a lancé un programme, appelé « Moonshot », pour développer des technologies révolutionnaires (dites « technologies de rupture »), portant plus particulièrement sur la résolution de problèmes associés à des contextes difficiles tels que les catastrophes naturelles de grande ampleur, le cyberterrorisme et le réchauffement planétaire. En fixant des objectifs ambitieux, ce programme espère attirer des chercheurs du monde entier.

Les universités ont tissé des liens plus étroits avec le secteur privé, comme en témoigne le nombre croissant de start-ups universitaires qui ont vu le jour entre 2013 et 2018. S'inscrivant dans le prolongement des efforts déployés depuis 2004 pour réformer le système universitaire, cette tendance s'est traduite par une semi-privatisation des universités nationales.

Ces réformes ont également eu une incidence sur la productivité universitaire en diversifiant la charge de travail des chercheurs. Le Japon est l'un des rares pays à accuser un recul du volume des publications scientifiques depuis 2011.

Parallèlement, le nombre d'étudiants inscrits en master et en doctorat a chuté, signe d'une probable désillusion des jeunes vis-à-vis de la carrière universitaire.

La **République de Corée** (chapitre 25) se targue d'occuper la deuxième place mondiale en termes d'intensité de la recherche. Selon les estimations, la part des investissements dans la recherche a atteint 40 % du PIB national sur la période 2013-2017.

Depuis 2017, le Gouvernement poursuit une stratégie de croissance induite par l'innovation et par les revenus qui se situe globalement dans la ligne de la politique du précédent Gouvernement14. Sa stratégie « *Vision d'avenir de la science et de la technologie : vers 2040* » (2010) a été révisée de façon à souligner l'importance de la qualité de vie, de la consommation fondée sur des valeurs sociales et du soutien aux PME.

Aucune référence à la technologie nucléaire n'apparaît dans cette version révisée de la stratégie, ce qui dénote les doutes de plus en plus nombreux que suscite la sécurité de l'énergie nucléaire15, alors que la République de Corée fait partie des principaux fabricants de réacteurs nucléaires. Les technologies de l'hydrogène et des piles à combustible retiennent l'attention de l'actuel Gouvernement qui y voit un moyen de compenser la perte du nucléaire.

Les objectifs de développement durable (ODD) qui ont trait aux énergies propres à un coût abordable et à l'action en faveur du climat (ODD 7 et 13) représentent un défi ; les cibles ambitieuses fixées pour 2040 en matière de production d'énergies renouvelables vont nécessiter d'investir massivement dans les infrastructures. Un plan gouvernemental est en préparation pour aider les agriculteurs à transformer des terres agricoles dégradées en parcs solaires.

Conformément à la stratégie *I-Korea 4.0* (2017) pour l'industrie 4.0, le pays a entrepris d'installer un réseau dédié à l'Internet des objets et s'est lancé dans la commercialisation de la 5G. La loi sur la protection des données à caractère personnel (2017) a été modifiée en janvier 2020 pour autoriser l'utilisation et l'analyse de données personnelles à des fins commerciales.

Il est quelque peu préoccupant de voir le pays perdre du terrain depuis 2010 en termes de compétitivité scientifique et technologique, malgré l'augmentation des dépenses consacrées à la recherche.

Le Gouvernement s'est donc employé à restructurer l'écosystème de l'innovation, notamment en créant un Bureau national de la science, de la technologie et de l'innovation en 2017 afin d'améliorer la coordination du système. D'autres mesures concernent, entre autres, la fusion des systèmes administratifs en ligne de la recherche, l'octroi d'une plus grande autonomie aux chercheurs en leur permettant d'élaborer leurs propres projets de recherche fondamentale, une méthode d'évaluation de la recherche axée sur les processus plutôt que sur les résultats et une réorientation en faveur de « l'innovation de rupture » dans le but de recouvrer une certaine compétitivité.

L'accroissement de l'autonomie régionale a été une autre priorité des politiques publiques. Le Gouvernement a mis en place des pôles d'innovation nationaux centrés sur les priorités régionales. À l'appui de cet effort, des établissements publics et des entreprises d'État ont été délocalisés dans les provinces. Le Ministère des petites et moyennes entreprises (créé en 2017) soutient cette initiative, et, plus généralement, des plans prévoient de renforcer le rôle des PME dans l'innovation nationale.

En **Asie du Sud-Est et en Océanie** (chapitre 26), le Partenariat économique global régional signé en novembre 2020 devrait permettre de resserrer les liens entre les économies des pays de l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est (ASEAN) et

l'Australie, la Chine, le Japon, la République de Corée et la Nouvelle-Zélande.

Les derniers chiffres du nombre de publications montrent que les communautés scientifiques de l'ASEAN ont forgé des relations bilatérales plus étroites depuis l'instauration de la Communauté économique de l'ASEAN en 2015. Au niveau multilatéral, toutefois, seules quelques initiatives ont permis de combler le déficit de capacités depuis 2015, du fait que le budget opérationnel de l'ASEAN est limité et que les États membres sont peu enclins à partager des ressources.

L'intensité de la recherche a reculé en Australie et à Singapour et progressé en Malaisie, en Nouvelle-Zélande, en Thaïlande et au Viet Nam, tendant ainsi vers une plus grande convergence.

L'idée s'impose peu à peu que la transformation numérique inhérente à l'industrie 4.0 constitue un défi de taille pour les entreprises, les pouvoirs publics et la société dans son ensemble. Dans les pays moins avancés, la priorité est de renforcer les capacités techniques et managériales de la population active et d'accélérer la pénétration de l'Internet pour tirer le meilleur parti de cette « révolution ».

Plusieurs pays de l'ASEAN ont lancé des initiatives destinées à intégrer les technologies de l'industrie 4.0 dans le secteur manufacturier. À titre d'exemple, la stratégie *Making Indonesia 4.0* vise à soutenir une montée en puissance des performances de l'industrie en facilitant la transition vers des activités spécialisées de haute technologie et à forte valeur ajoutée. Le Gouvernement a instauré une réduction fiscale de 300 % sur les dépenses de recherche des entreprises en 2019.

La cartographie des normes de Singapour en vue de l'établissement d'un indice de préparation à l'industrie intelligente définissant les bonnes pratiques en matière de fiabilité, d'interopérabilité, de sûreté et de cybersécurité dans des domaines liés à l'industrie 4.0 en est un autre exemple.

Plusieurs pays, comme le Cambodge, la Thaïlande et l'Indonésie, misent sur des zones économiques spéciales pour attirer les investissements et favoriser l'innovation. Le corridor économique oriental de l'innovation de la Thaïlande a pour but d'établir des liens au sein du système national d'innovation, en particulier dans le domaine de la bio-industrie.

En s'efforçant d'améliorer les conditions d'entrepreneuriat, tous les gouvernements devront veiller à préserver un cadre réglementaire propre à assurer la protection de l'environnement et de la main d'œuvre.

La plupart des pays ont élaboré un plan stratégique ou un cadre de suivi des performances concernant les Objectifs de développement durable, mais rares sont ceux qui ont été en mesure de rendre compte de façon détaillée des progrès accomplis en la matière. Bien que les décideurs reconnaissent la nécessité de renforcer les capacités en matière d'énergies renouvelables, l'abandon des combustibles fossiles représente un défi.

Les États insulaires du Pacifique font partie des adeptes les plus convaincus des atouts de l'énergie solaire et éolienne. Ils sont séduits par ces technologies qui, selon eux, portent la promesse d'une plus grande indépendance énergétique et d'une moindre dépendance à l'égard de coûteuses importations de combustibles.

Susan Schneegans (née en 1963 en Nouvelle-Zélande) est rédactrice en chef de la collection des *Rapports de l'UNESCO sur la science*. En 2013 et 2014, elle a corédigé trois rapports présentant les systèmes nationaux d'innovation du Botswana, du Malawi et du Zimbabwe, au sein de l'Observatoire mondial des instruments de politique de science, de technologie et d'innovation. De 2002 à 2013, elle a été rédactrice de la revue Planète Science, publiée par l'UNESCO, dont elle est également la fondatrice. Elle est titulaire d'un master de l'Université d'Auckland (Nouvelle-Zélande).

Jake Lewis (né en 1994 au Royaume-Uni) est rédacteur adjoint pour le *Rapport de l'UNESCO sur la science*. Il est titulaire d'un diplôme de deuxième cycle en philosophie de l'Université de Cambridge (Royaume-Uni). En 2018-2019, il a été rédacteur et gestionnaire de communauté pour InsSciDE, un projet de recherche sur la diplomatie scientifique relevant du programme Horizon 2020 de l'Union européenne.

Tiffany Straza (née en 1987 au Canada) est rédactrice adjointe et statisticienne pour le *Rapport de l'UNESCO sur la science*. Elle est titulaire d'un doctorat en océanographie de l'Université du Delaware (États-Unis), avec une spécialisation sur l'écologie microbienne marine. Elle a étudié la diffusion des sciences et la création de systèmes inclusifs au service de la gestion de l'environnement, ce qui l'a conduite à proposer un soutien technique en matière de bonne gestion océanique et insulaire dans la région des îles du Pacifique de 2013 à 2019.

NOTES DE FIN

1 Voir : https://www.afro.who.int/fr/news/la-covid-19-stimule-linnovation-en-matiere-de-sante-en-afrique.
2 ZTE a finalement évité la faillite en s'acquittant d'une amende substantielle et en acceptant d'autoriser le Gouvernement américain à surveiller ses opérations.
3 En février 2021, la subvention d'automatisation intelligente a été accordée à 66 PME et entreprises de taille intermédiaire de secteurs traditionnels tels que le tourisme, l'immobilier, l'éducation et les soins de santé, dans le cadre du *Plan de relance économique national (Penjana)* mis en place par le Gouvernement malaisien en réponse à la pandémie de COVID-19 (voir le chapitre 26).
4 La majorité des pays membres de l'UE ont publié des stratégies nationales d'IA, tout comme l'Arabie saoudite, le Canada, la Chine, les Émirats arabes unis, les États-Unis, la Fédération de Russie, l'Inde, le Japon, Maurice et le Viet Nam. D'autres pays travaillent actuellement à l'élaboration de leur stratégie en matière d'IA, notamment le Bangladesh, la Malaisie et la Tunisie.
5 Pour que la Convention de Malabo entre en vigueur, elle doit être ratifiée par 15 pays africains. En mai 2020, ils n'étaient que huit à l'avoir fait : l'Angola, le Ghana, la Guinée, Maurice, le Mozambique, la Namibie, le Rwanda et le Sénégal.
6 En Inde, les robots ont été principalement déployés dans quatre secteurs, classés par ordre décroissant : automobile ; produits chimiques, caoutchouc et plastique ; métallurgie ; produits électriques et électroniques.
7 Le Bhoutan est le seul pays du monde à afficher un bilan carbone négatif. Sa Constitution exige qu'un « minimum de 60 % du territoire total du pays reste à tout jamais couvert de forêts.
8 Voir : https://en.unesco.org/sites/default/files/usr15_tracking_trends_in_innovation_and_mobility.pdf.
9 La NASA redonne des capacités de vol spatial habité aux États-Unis pour la première fois depuis près de dix ans, avec la mise au point du Space Launch System (SLS), un lanceur de nouvelle génération. Le SLS est presque achevé et devrait être bien plus performant que l'ancienne navette spatiale américaine (voir le chapitre 5).
10 Le pôle aéronautique de Querétaro, au Mexique, a été créé en 2012 lorsque des sociétés multinationales, dont Airbus, Delta et Bombardier, se sont associées à des entrepreneurs et centres de recherche locaux ainsi qu'à l'Université d'aéronautique de Querétaro pour constituer ce pôle d'innovation (voir le chapitre 7).
11 Étant donné qu'une grande partie de ces publications ont été produites dans le cadre d'une collaboration scientifique internationale, le total mondial des publications est supérieur à 100 %.
12 La loi sur le retour au pays des scientifiques (Balik) de 2018 s'appuie sur le programme scientifique Balik (1975). Elle prévoit la prise en charge du coût du rapatriement des professionnels philippins de la science, de la technologie et de l'innovation. Le Ministère de la science et de la technologie espère convaincre 235 scientifiques pendant la période 2018-2022 (voir le chapitre 26).
13 Afrique du Sud, Angola, Botswana, Eswatini, Namibie, Seychelles, Tanzanie et Zimbabwe.
14 Comme indiqué dans l'édition précédente du *Rapport de l'UNESCO sur la science* (2015), le Gouvernement de la Présidente Park Geun-hye avait misé sur une économie créative en promouvant une culture plus entrepreneuriale.
15 Ces doutes sont apparus après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi au Japon en 2011 (voir le chapitre 24).

APPENDIX

Tableau 1.1 : **Tendances mondiales en matière de population, de PIB et de taux de pénétration de l'Internet, 2015 et 2018**

	Population (millions)		Part de la population mondiale (%)		PIB (milliards de dollars PPA constants de 2017)		Part du PIB mondial (%)		Nombre d'internautes pour 100 habitants	
	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2015	2019
Monde	**7 371,65**	**7 623,14**	**100,00**	**100,00**	**111 572,24**	**123 921,67**	**100,00**	**100,00**	**41,68**	**48,40**
Revenu élevé	1 317,84	1 336,22	17,88	17,53	58 393,14	62 180,54	52,34	50,18	78,87	87,99
Revenu intermédiaire supérieur	2 489,47	2 547,57	33,77	33,42	34 635,03	39 839,99	31,04	32,15	51,57	60,38
Revenu intermédiaire inférieur	2 679,21	2 792,32	36,34	36,63	16 470,51	19 425,00	14,76	15,68	23,45	29,06
Faible revenu	885,12	947,04	12,01	12,42	2 073,55	2 476,14	1,86	2,00	12,83	17,53
Amériques	**975,79**	**1 001,65**	**13,24**	**13,14**	**29 586,63**	**31 384,17**	**26,52**	**25,33**	**62,44**	**75,32**
Amérique du Nord	356,90	364,17	4,84	4,78	20 474,17	21 918,82	18,35	17,69	76,11	89,41
Amérique latine	581,05	598,77	7,88	7,85	8 841,44	9 163,95	7,92	7,39	55,69	67,91
Caraïbes	37,84	38,71	0,51	0,51	271,01	301,40	0,24	0,24	37,23	57,66
Europe	**822,27**	**829,46**	**11,15**	**10,88**	**28 681,87**	**30 779,74**	**25,71**	**24,84**	**72,23**	**82,16**
Union européenne	508,56	511,68	6,90	6,71	21 093,72	22 607,01	18,91	18,24	77,77	85,05
Europe du Sud-Est	17,90	17,72	0,24	0,23	231,31	254,15	0,21	0,21	63,23	74,80
Association européenne de libre-échange	13,86	14,24	0,19	0,19	886,25	939,28	0,79	0,76	91,26	95,11
Europe de l'Est	281,95	285,82	3,82	3,75	6 470,59	6 979,30	5,80	5,63	61,89	76,81
Afrique	**1 180,80**	**1 274,21**	**16,02**	**16,71**	**5 612,87**	**6 130,69**	**5,03**	**4,95**	**23,96**	**24,20**
Afrique subsaharienne	953,42	1 033,08	12,93	13,55	3 555,34	3 834,12	3,19	3,09	20,52	18,21
États arabes d'Afrique	227,38	241,13	3,08	3,16	2 057,53	2 296,58	1,84	1,85	38,40	50,04
Asie	**4 353,78**	**4 477,14**	**59,06**	**58,73**	**46 311,07**	**54 127,88**	**41,51**	**43,68**	**35,81**	**42,94**
Asie centrale	71,48	75,22	0,97	0,99	774,47	876,02	0,69	0,71	42,81	54,04
États arabes d'Asie	153,42	162,22	2,08	2,13	3 400,25	3 571,97	3,05	2,88	55,69	70,07
Asie de l'Ouest	103,04	107,09	1,40	1,40	1 535,48	1 799,86	1,38	1,45	51,25	72,94
Asie du Sud	1 749,36	1 814,01	23,73	23,80	8 996,76	10 979,85	8,06	8,86	16,22	20,21
Asie de l'Est et du Sud-Est	2 276,49	2 318,60	30,88	30,42	31 604,10	36 900,18	28,33	29,78	48,74	57,31
Océanie	**39,03**	**40,72**	**0,53**	**0,53**	**1 379,94**	**1 499,34**	**1,24**	**1,21**	**65,64**	**69,41**
Autres groupes										
Moins développés	942,30	1 011,00	12,78	13,26	2 433,00	2 815,98	2,18	2,27	13,71	17,74
Tous les États arabes	380,80	403,35	5,17	5,29	5 457,78	5 868,55	4,89	4,74	45,37	58,09
OCDE	1 275,10	1 296,63	17,30	17,01	55 038,06	58 890,90	49,33	47,52	76,50	85,62
G20	4 723,61	4 826,67	64,08	63,32	91 421,33	101 355,99	81,94	81,79	47,63	54,84
Org. de coopération islamique	1 734,69	1 838,15	23,53	24,11	15 927,97	17 885,89	14,28	14,43	30,36	38,14
Pays particuliers										
Afrique du Sud	55,39	57,79	0,75	0,76	711,16	729,80	0,64	0,59	51,92	56,17[-2]
Allemagne	81,79	83,12	1,11	1,09	4 183,10	4 448,72	3,75	3,59	87,59	88,10
Arabie saoudite	31,72	33,70	0,43	0,44	1 551,67	1 604,01	1,39	1,29	69,62	95,70
Argentine	43,08	44,36	0,58	0,58	1 032,32	1 012,07	0,93	0,82	68,04	74,29[-2]
Australie	23,93	24,90	0,32	0,33	1 143,65	1 238,54	1,03	1,00	84,56	86,55[-2]
Brésil	204,47	209,47	2,77	2,75	3 079,19	3 057,47	2,76	2,47	58,33	70,43[-1]
Canada	36,03	37,07	0,49	0,49	1 705,54	1 813,03	1,53	1,46	90,00	91,00[-2]
Chine	1 406,85	1 427,65	19,08	18,73	17 403,45	21 229,73	15,60	17,13	50,30	54,30[-2]
Égypte	92,44	98,42	1,25	1,29	977,16	1 118,72	0,88	0,90	37,82	57,30
États-Unis d'Amérique	320,88	327,10	4,35	4,29	18 768,63	20 105,79	16,82	16,22	74,55	88,50[-1]
Fédération de Russie	144,99	145,73	1,97	1,91	3 743,06	3 915,64	3,35	3,16	70,10	82,60
France	64,45	64,99	0,87	0,85	2 898,40	3 051,03	2,60	2,46	78,01	83,30
Inde	1 310,15	1 352,64	17,77	17,74	7 146,03	8 787,69	6,40	7,09	17,00	20,10[-1]
Indonésie	258,38	267,67	3,51	3,51	2 622,49	3 043,74	2,35	2,46	21,98	47,70
Iran	78,49	81,80	1,06	1,07	996,70	–	0,89	–	45,33	70,00[-1]
Israël	7,98	8,38	0,11	0,11	315,37	351,25	0,28	0,28	77,35	86,80
Italie	60,58	60,63	0,82	0,80	2 456,24	2 549,69	2,20	2,06	58,14	74,39[-1]
Japon	127,99	127,20	1,74	1,67	5 044,06	5 197,07	4,52	4,19	91,06	91,28[-1]
Malaisie	30,27	31,53	0,41	0,41	750,49	868,20	0,67	0,70	71,06	84,20
Mexique	121,86	126,19	1,65	1,66	2 350,43	2 522,84	2,11	2,04	57,43	70,10
République de Corée	50,82	51,17	0,69	0,67	1 982,96	2 162,01	1,78	1,74	89,90	96,20
Royaume-Uni	65,86	67,14	0,89	0,88	2 924,55	3 077,77	2,62	2,48	92,00	92,50
Turquie	78,53	82,34	1,07	1,08	2 042,98	2 329,55	1,83	1,88	53,74	74,00

Remarque : L'Europe de l'Est désigne les pays non membres de l'Union européenne. Les estimations mondiales et régionales sont basées sur les données nationales, sans extrapolation aux autres pays. Le sigle OCDE désigne l'Organisation de coopération et de développement économiques.

Source : Banque mondiale, Indicateurs du développement dans le monde, août 2020

Tableau 1.2 : **Tendances mondiales en matière de dépenses de recherche, 2014 et 2018**

	Dépenses intérieures brutes en R-D (DIRD) [milliards de dollars PPA]			Part des DIRD mondiales (%)		DIRD en pourcentage du PIB (%)		DIRD par habitant (en dollars PPA)			DIRD par chercheur (en ETP) [en milliers de dollars PPA]		
	2014	2018	Change (%)	2014	2018	2014	2018	2014	2018	Change (%)	2014	2018	Change (%)
Monde	**1 482,68**	**1 767,27**	**19,19**	**100,00**	**100,00**	**1,73**	**1,79**	**236,16**	**269,52**	**14,13**	**164,40**	**166,96**	**1,56**
Revenu élevé	1 011,23	1 137,40	12,48	68,20	64,36	2,31	2,40	805,72	890,75	10,55	194,28	195,71	0,74
Revenu intermédiaire supérieur	407,70	551,59	35,29	27,50	31,21	1,39	1,57	170,74	223,81	31,08	187,48	199,15	6,22
Revenu intermédiaire inférieur	62,20	76,56	23,09	4,20	4,33	0,48	0,49	27,94	32,40	15,96	126,63	123,21	-2,70
Faible revenu	1,55	1,72	10,97	0,10	0,10	0,22	0,22	3,66	3,81	4,10	145,21	138,34	-4,73
Amériques	**476,69**	**531,35**	**11,47**	**32,15**	**30,07**	**2,05**	**2,12**	**536,66**	**576,51**	**7,43**	**245,02**	**230,33**	**-6,00**
Amérique du Nord	425,21	483,43	13,69	28,68	27,35	2,63	2,73	1 200,02	1 327,48	10,62	284,19	295,60	4,01
Amérique latine	51,44	47,89	-6,90	3,47	2,71	0,73	0,66	96,60	86,72	-10,23	217,39	184,61	-15,08
Caraïbes	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,08	0,09	22,75	23,52	3,38	44,57	45,47	2,02
Europe	**345,51**	**390,28**	**12,96**	**23,30**	**22,08**	**1,72**	**1,78**	**423,13**	**472,56**	**11,68**	**125,38**	**124,80**	**-0,46**
Union européenne	290,35	330,83	13,94	19,58	18,72	1,94	2,02	572,19	646,65	13,01	153,86	150,40	-2,25
Europe du Sud-Est	0,82	1,05	28,05	0,06	0,06	0,57	0,65	64,57	86,45	33,89	55,69	54,72	-1,74
Association européenne de libre-échange	16,63	18,82	13,17	1,12	1,07	2,65	2,87	1 208,43	1 317,70	9,04	225,11	230,21	2,27
Europe de l'Est	37,70	39,57	4,96	2,54	2,24	0,97	0,95	134,43	138,96	3,37	70,91	73,66	3,88
Afrique	**14,90**	**17,85**	**19,80**	**1,01**	**1,01**	**0,54**	**0,59**	**24,93**	**26,82**	**7,58**	**137,19**	**141,05**	**2,81**
Afrique subsaharienne	6,51	7,34	12,75	0,44	0,42	0,49	0,51	14,36	14,49	0,91	156,79	147,32	-6,04
États arabes d'Afrique	8,39	10,51	25,27	0,57	0,59	0,59	0,65	57,51	67,48	17,34	78,35	92,60	18,19
Asie	**627,58**	**808,05**	**28,76**	**42,33**	**45,72**	**1,62**	**1,70**	**159,01**	**196,99**	**23,89**	**159,28**	**167,32**	**5,05**
Asie centrale	0,95	0,81	-14,74	0,06	0,05	0,17	0,12	14,72	11,72	-20,38	25,83	24,44	-5,38
États arabes d'Asie	6,94	10,17	46,54	0,47	0,58	0,40	0,53	106,66	143,09	34,16	176,41	144,28	-18,21
Asie de l'Ouest	15,54	26,05	67,63	1,05	1,47	0,94	1,37	150,77	242,22	60,66	71,18	93,41	31,23
Asie du Sud	45,61	56,49	23,85	3,08	3,20	0,64	0,60	30,18	35,59	17,93	144,92	140,30	-3,19
Asie de l'Est et du Sud-Est	558,54	714,52	27,93	37,67	40,43	2,03	2,13	253,47	315,45	24,45	174,77	193,03	10,45
Océanie	**18,01**	**19,75**	**9,66**	**1,21**	**1,12**	**1,74**	**1,81**	**496,95**	**514,61**	**3,55**	**42,05**	**46,90**	**11,53**
Autres groupes													
Moins développés	1,80	2,03	12,78	0,12	0,11	0,19	0,21	3,89	4,08	4,88	137,35	132,04	-3,87
Tous les États arabes	15,33	20,69	34,96	1,03	1,17	0,48	0,59	72,61	91,15	25,53	109,07	109,09	0,02
OCDE	988,49	1 114,38	12,74	66,67	63,06	2,36	2,43	779,71	859,34	10,21	206,90	204,27	-1,27
G20	1 393,89	1 647,65	18,21	94,01	93,23	1,93	1,99	299,38	343,87	14,86	182,53	188,45	3,24
Org. de coopération islamique	48,73	69,04	41,68	3,29	3,91	0,45	0,60	45,96	59,20	28,81	92,17	89,86	-2,51
Pays particuliers													
Afrique du Sud	4,64	5,16[-1]	11,21	0,31	0,29[-1]	0,77	0,83[-1]	85,12	90,55[-1]	6,38	196,96	174,89[-1]	-11,21
Allemagne	85,96	99,99	16,32	5,80	5,66	2,87	3,09	1 055,35	1 202,88	13,98	244,26	230,80	-5,51
Argentine	4,28	4,03[-1]	-5,84	0,29	0,23[-1]	0,59	0,54[-1]	100,28	91,63[-1]	-8,63	83,09	76,86[-1]	-7,50
Australie	–	17,30	–	–	0,98	–	1,87	–	703,57	–	–	–	–
Brésil	35,56	33,30	-6,36	2,40	1,88[-1]	1,27	1,26	175,35	160,23	-8,62	197,54	–	–
Canada	23,47	22,85[-1]	-2,64	1,58	1,29	1,72	1,57[-1]	658,16	616,40[-1]	-6,34	144,91	150,68[-1]	3,98
Chine	313,94	439,02	39,84	21,18	24,84	2,03	2,19	224,33	307,51	37,08	205,96	235,26	14,23
Égypte	5,14	6,99	35,99	0,35	0,40	0,64	0,72	56,89	71,03	24,85	84,26	103,44	22,76
États-Unis d'Amérique	401,74	460,58[-1]	14,65	27,10	26,06[-1]	2,72	2,84[-1]	1 260,66	1408,08[-1]	11,69	299,78	309,94[-1]	3,39
Fédération de Russie	24,00	22,57	-5,96	1,62	1,28	1,07	0,99	165,89	154,88	-6,64	53,94	55,62	3,11
France	47,55	48,88	2,80	3,21	2,77	2,28	2,20	740,75	752,06	1,53	174,97	159,49	-8,85
Inde	43,55	54,04	24,09	2,94	3,06	0,70	0,65	33,62	39,95	18,83	–	158,11	–
Indonésie	–	6,26	–	–	0,35	–	0,23	–	23,40	–	–	108,36	–
Iran	–	11,40[-1]	–	–	0,64[-1]	–	0,83[-1]	–	141,28[-1]	–	–	95,79[-1]	–
Israël	10,19	13,81	35,53	0,69	0,78	4,17	4,95	1 297,90	1 647,67	26,95	–	–	–
Italie	22,15	24,15	9,03	1,49	1,37	1,34	1,40	366,62	398,30	8,64	187,40	172,67	-7,86
Japon	143,48	144,12	0,45	9,68	8,16	3,40	3,26	1 119,47	1 133,01	1,21	210,10	212,53	1,16
Malaisie	8,23	–	–	0,56	–	1,26	–	275,50	–	–	134,12	–	–
Mexique	7,04	5,59	-20,60	0,47	0,32	0,44	0,31	58,50	44,27	-24,32	224,85	–	–
République de Corée	68,98	86,62	25,57	4,65	4,90	4,29	4,53	1 363,09	1 692,64	24,18	199,68	212,10	6,22
Royaume-Uni	36,00	40,24	11,78	2,43	2,28	1,66	1,72	550,28	599,32	8,91	130,16	130,19	0,02
Turquie	10,83	14,22[-1]	31,30	0,73	0,80[-1]	0,86	0,96[-1]	140,19	175,26[-1]	25,02	120,76	127,05[-1]	5,21

Remarque : Les chiffres relatifs aux DIRD sont exprimés en dollars PPA (à prix constants de 2005). Bon nombre de données de base sont des estimations de l'Institut de statistique de l'UNESCO, en ce qui concerne en particulier les pays en développement. En outre, dans un nombre important de pays en développement, les données ne couvrent pas l'ensemble des secteurs de l'économie.

Source : Estimations mondiales et régionales basées sur les données nationales de l'Institut de statistique de l'UNESCO, août 2020, sans extrapolation

Tableau 1.3 : **Tendances mondiales en matière de personnel de recherche, 2014 et 2018**

	Chercheurs (ETP, milliers)			Part de l'effectif mondial des chercheurs (%)		Femmes, en personnes physiques (%)	Nombre de chercheurs par million d'habitants (ETP)			Nombre de techniciens par million d'habitants (ETP)		
	2014	2018	Change (%)	2014	2018	2018	2014	2018	Change (%)	2014	2018	Change (%)
Monde	**7 789,79**	**8 854,29**	**13,67**	**100,00**	**100,00**	**33,25**	**1 245,3**	**1 368,0**	**9,86**	**301,7**	**311,3**	**3,18**
Revenu élevé	4 885,91	5 333,83	9,17	62,72	60,24	29,59	3 994,7	4 301,1	7,67	1 021,7	1 047,1	2,49
Revenu intermédiaire supérieur	2 256,87	2 762,41	22,40	28,97	31,20	42,65	955,0	1141,1	19,49	358,1	425,3	18,77
Revenu intermédiaire inférieur	633,92	739,42	16,64	8,14	8,35	42,79	275,8	312,2	13,20	83,5	73,8	-11,62
Faible revenu	13,09	18,64	42,37	0,17	0,21	19,54	33,1	45,1	36,13	20,1	22,7	12,94
Amériques	**1 797,28**	**1 918,33**	**6,74**	**23,07**	**21,67**	**49,80**	**2 046,7**	**2 131,6**	**4,15**	**33,1**	**45,1**	**36,25**
Amérique du Nord	1 502,09	1 603,66	6,76	19,28	18,11	–	4 239,1	4 432,2	107,72	1 353,0	1 280,2	-5,38
Amérique latine	294,49	313,95	6,61	3,78	3,55	49,77	563,7	592,9	5,19	531,2	556,6	4,78
Caraïbes	0,70	0,72	2,02	0,01	0,01	50,24	509,2	519,5	2,02	273,8	268,4	-1,97
Europe	**2 446,37**	**2 746,56**	**12,27**	**31,40**	**31,02**	**34,85**	**3 034,4**	**3 372,0**	**11,12**	**930,4**	**977,0**	**5,01**
Union européenne	1 772,36	2 081,75	17,46	22,75	23,51	33,78	3 492,9	4069,2	16,50	1 336,2	1 413,6	5,79
Europe du Sud-Est	16,21	18,23	12,47	0,21	0,21	51,21	1 290,8	1 487,2	15,21	236,7	275,3	16,31
Association européenne de libre-échange	74,43	83,05	11,58	0,96	0,94	36,59	5 406,9	5876,6	8,69	2 525,0	2 631,7	4,23
Europe de l'Est	583,37	563,53	-3,40	7,49	6,36	39,04	2 153,5	2053,8	-4,63	357,1	362,8	1,60
Afrique	**194,59**	**221,28**	**13,72**	**2,50**	**2,50**	**41,82**	**307,9**	**326,4**	**6,01**	**86,0**	**93,3**	**8,49**
Afrique subsaharienne	46,54	59,93	28,77	0,60	0,68	33,48	102,3	123,8	20,97	36,4	38,5	5,77
États arabes d'Afrique	148,05	161,36	8,99	1,90	1,82	44,87	837,0	866,2	3,49	202,7	214,5	5,82
Asie	**3 326,52**	**3 941,58**	**18,49**	**42,70**	**44,52**	**28,43**	**845,0**	**969,9**	**14,79**	**130,2**	**133,6**	**2,61**
Asie centrale	29,07	27,68	-4,77	0,37	0,31	44,90	609,1	545,0	-10,52	104,0	75,4	-27,50
États arabes d'Asie	29,53	40,33	36,58	0,38	0,46	34,17	354,7	458,2	29,18	148,8	149,3	0,34
Asie de l'Ouest	68,21	126,51	85,48	0,88	1,43	33,95	826,6	1 494,0	80,74	160,1	491,5	207,00
Asie du Sud	336,37	415,29	23,46	4,32	4,69	39,14	219,7	262,8	19,61	86,0	67,7	-21,28
Asie de l'Est et du Sud-Est	2 863,35	3 331,77	16,36	36,76	37,63	26,31	1 297,9	1475,6	13,70	209,8	224,1	6,82
Océanie	**25,03**	**26,53**	**6,01**	**0,32**	**0,30**	**33,25**	**1 978,9**	**2 005,6**	**1,35**	**382,4**	**464,6**	**21,50**
Autres groupes												
Moins développés	21,65	28,21	30,35	0,28	0,32	21,98	49,1	62	26,27	20,6	23,3	13,11
Tous les États arabes	177,58	201,69	13,58	2,28	2,28	42,60	681,9	736	7,93	185,4	193,7	4,48
OCDE	4 478,64	4 987,73	11,37	57,49	56,33	28,96	3 622,6	3959	9,29	926,9	976,2	5,32
G20	6 973,47	7 865,54	12,79	89,52	88,83	30,82	1 504,3	1654	9,95	405,0	406,8	0,44
Org. de coopération islamique	533,53	681,62	27,76	6,85	7,70	40,17	499,5	609	21,93	94,1	140,9	49,73
Pays particuliers												
Afrique du Sud	23,57	29,52[-1]	25,21	0,30	0,33[-1]	44,9[-1]	432,2	517,72[-1]	19,80	141,7	129,5[-1]	-8,61
Allemagne	351,92	433,23	23,10	4,51	4,90	27,9[-1]	4 320,7	5 211,87	20,63	1 883,2	2 018,0	7,16
Argentine	51,46	52,4[-1]	1,79	0,66	0,59[-1]	54,07[-1]	1 206,9	1 192,23[-1]	-1,22	318,8	398,1	24,87
Brésil	179,99	–	-	2,31	–	–	887,7	–	–	969,9	–	–
Canada	161,98	158,89[-1]	-1,91	2,08	1,80[-1]	–	4 541,9	4 325,64[-1]	-4,76	1 353,0	1 268,4[-1]	-6,25
Chine	1 524,28	1 866,11	22,43	19,55	21,12	–	1 089,2	1 307,12	20,01	–	–	–
Égypte	61,06	67,59	10,70	0,78	0,76	45,6	675,2	686,72	1,70	351,6	369,6	5,12
États-Unis d'Amérique	1 340,10	1 434,42[-1]	7,04	17,19	16,23[-1]	–	4 205,3	4 412,44[-1]	4,93	–	–	–
Fédération de Russie	444,87	405,77	-8,79	5,71	4,59	39,2	3 075,1	2 784,33	-9,46	496,6	437,8	-11,84
France	271,77	306,45	12,76	3,49	3,47	28,3[-1]	4 233,6	4 715,32	11,38	1 809,3	1 805,5[-1]	-0,21
Inde	–	341,82	–	–	3,87	–	–	252,70	–	95,5	73,1	-23,46
Indonésie	–	57,82	–	–	0,65	45,8	–	215,99	–	16,3[+2]	34,7	112,88
Iran	–	118,99[-1]	–	–	1,35[-1]	31,2[-1]	–	1 474,91[-1]	–	160,6[+1]	496,8[-1]	209,34
Italie	118,18	139,85	18,34	1,52	1,58	34,3[-1]	1 956,4	2 306,77	17,91	–	–	–
Japon	682,94	678,13	-0,70	8,76	7,67	16,6	5 328,4	5 331,15	0,05	537,0	524,3	-2,36
Malaisie	61,35	–	–	0,79	–	48,2[-2]	2 054,2	–	–	212,2	233,4	9,99
Mexique	31,32	–	–	0,40	–	–	260,2	–	–	115,6	140,3[-2]	21,37
République de Corée	345,46	408,37	18,21	4,43	4,62	20,4	6 826,3	7 980,40	16,91	1 228,2	1 251,1	1,86
Royaume-Uni	276,58	309,07	11,75	3,55	3,50	38,7[-2]	4 227,6	4 603,31	8,89	1 255,5	1 305,4[-2]	3,97
Turquie	89,66	111,89[-1]	24,80	1,15	1,27[-1]	37,0[-1]	1 160,9	1 379,41[-1]	18,82	208,3	353,7[-1]	69,80

Remarque : Les chercheurs sont comptabilisés en équivalent temps plein (ETP). Les estimations mondiales et régionales sont basées sur les données en ETP disponibles pour les pays. La part des chercheuses est calculée à partir des données en personnes physiques disponibles pour l'année la plus récente de la période 2015-2018. Voir le tableau 1.1 pour les chiffres régionaux.

Source: Estimations mondiales et régionales basées sur les données nationales de l'Institut de statistique de l'UNESCO, août 2020, sans extrapolation

Tableau 1.4 : **Tendances mondiales en matière de publications scientifiques, 2015 et 2019**

	Volume		Évolution (%)	Part mondiale (%)		Publications par million d'habitants		Publications par des coauteurs internationaux (%)		Technologies stratégiques transversales				
										Volume		Évolution (%)	Part mondiale (%)	
	2015	2019	2015–2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2015–2019	2015	2019
Monde	**2 178 625**	**2 629 248**	**20,68**	**100,00**	**100,00**	**295,24**	**340,90**	**21,69**	**23,48**	**351 447**	**467 883**	**33,13**	**100,00**	**100,00**
Revenu élevé	1 509 655	1 654 704	9,61	69,29	62,93	1 139,12	1 226,93	30,40	35,46	212 582	244 026	14,79	60,49	52,16
Revenu intermédiaire supérieur	702 587	1 000 301	42,37	32,25	38,05	282,22	389,91	24,89	27,41	140 207	208 580	48,77	39,89	44,58
Revenu intermédiaire inférieur	174 394	299 319	71,63	8,00	11,38	65,09	105,76	29,11	29,63	33 977	75 894	123,37	9,67	16,22
Faible revenu	13 923	23 799	70,93	0,64	0,91	15,73	24,58	72,13	69,96	1 014	2 739	170,12	0,29	0,59
Amériques	**658 936**	**724 263**	**9,91**	**30,25**	**27,55**	**672,69**	**714,78**	**34,99**	**39,44**	**77 773**	**87 323**	**12,28**	**22,13**	**18,66**
Amérique du Nord	565 726	609 538	7,74	25,97	23,18	1 568,56	1 648,32	36,52	41,29	66 316	71 063	7,16	18,87	15,19
Amérique latine	107 634	135 039	25,46	4,94	5,14	185,24	223,39	36,75	40,82	12 516	17 534	40,09	3,56	3,75
Caraïbes	2 833	3 110	9,78	0,13	0,12	74,87	79,78	59,20	71,16	237	301	27,00	0,07	0,06
Europe	**822 170**	**918 168**	**11,68**	**37,74**	**34,92**	**995,42**	**1 099,43**	**37,35**	**41,14**	**117 410**	**140 646**	**19,79**	**33,41**	**30,06**
Union européenne	700 849	752 472	7,37	32,17	28,62	1 368,20	1 457,36	41,01	46,54	99 892	108 910	9,03	28,42	23,28
Europe du Sud-Est	8 125	8 967	10,36	0,37	0,34	453,84	507,60	43,47	52,68	1 160	1 156	-0,34	0,33	0,25
Association européenne de libre-échange	54 041	61 685	14,14	2,48	2,35	3 897,85	4 299,42	66,28	69,91	6 055	6 811	12,49	1,72	1,46
Europe de l'Est	105 579	152 895	44,82	4,85	5,82	374,47	533,12	25,33	24,54	15 432	30 547	97,95	4,39	6,53
Afrique	**61 236**	**92 133**	**50,46**	**2,81**	**3,50**	**51,86**	**70,53**	**53,95**	**55,40**	**8 966**	**14 537**	**62,13**	**2,55**	**3,11**
Afrique subsaharienne	30 805	47 374	53,79	1,41	1,80	32,31	44,67	58,89	60,52	3 112	5 916	90,10	0,89	1,26
États arabes d'Afrique	30 951	45 665	47,54	1,42	1,74	136,12	185,84	49,81	50,98	5 910	8 704	47,28	1,68	1,86
Asie	**900 254**	**1 262 260**	**40,21**	**41,32**	**48,01**	**206,78**	**279,46**	**22,61**	**24,43**	**184 247**	**281 245**	**52,65**	**52,43**	**60,11**
Asie centrale	2 528	5 780	128,64	0,12	0,22	35,37	75,62	60,96	61,28	536	1 456	171,64	0,15	0,31
États arabes d'Asie	32 414	58 153	79,41	1,49	2,21	211,28	352,07	70,77	62,15	6 923	12 443	79,73	1,97	2,66
Asie de l'Est et du Sud-Est	699 375	964 627	37,93	32,10	36,69	307,22	413,75	22,03	24,17	147 103	211 303	43,64	41,86	45,16
Asie du Sud	126 301	191 638	51,73	5,80	7,29	72,20	104,42	21,45	24,46	24 939	52 818	111,79	7,10	11,29
Asie de l'Ouest	59 727	82 087	37,44	2,74	3,12	579,63	757,01	30,15	34,89	8 687	11 431	31,59	2,47	2,44
Océanie	**80 984**	**98 304**	**21,39**	**3,72**	**3,74**	**2 074,98**	**2 381,70**	**53,55**	**61,61**	**9 298**	**11 924**	**28,24**	**2,65**	**2,55**
Autres groupes														
Moins développés	13 826	23 572	70,49	0,63	0,90	14,67	22,78	72,90	71,30	1 081	2 881	166,51	0,31	0,62
Tous les États arabes	58 447	95 817	63,94	2,68	3,64	153,49	233,19	57,21	53,66	11 944	19 840	66,11	3,40	4,24
OCDE	1 439 908	1 549 257	7,59	66,09	58,92	1 122,70	1 182,48	30,49	35,72	195 786	215 660	10,15	55,71	46,09
G20	1 989 718	2 381 962	19,71	91,33	90,59	420,57	489,53	23,33	25,31	316 697	419 013	32,31	90,11	89,56
Org. de coopération islamique	183 243	300 234	63,84	8,41	11,42	105,63	160,31	36,35	36,80	33 640	59 098	75,68	9,57	12,63
Pays particuliers														
Afrique du Sud	14 706	21 062	43,22	0,68	0,80	265,52	359,68	54,13	57,42	1 622	2 623	61,71	0,46	0,56
Allemagne	144 201	152 348	5,65	6,62	5,79	1 763,12	1 824,15	50,56	54,79	19 974	20 814	4,21	5,68	4,45
Arabie saoudite	17 681	25 205	42,55	0,81	0,96	557,45	735,51	76,22	75,84	3 672	4 994	36,00	1,04	1,07
Argentine	10 982	12 280	11,82	0,50	0,47	254,95	274,23	46,60	50,47	897	1 071	19,40	0,26	0,23
Australie	71 691	87 187	21,61	3,29	3,32	2 995,55	3 459,36	53,94	62,23	8 366	10 736	28,33	2,38	2,29
Brésil	61 006	74 270	21,74	2,80	2,82	298,36	351,91	30,75	35,21	6 699	8 596	28,32	1,91	1,84
Canada	82 595	94 578	14,51	3,79	3,60	2 292,61	2 528,08	51,84	57,94	9 533	10 699	12,23	2,71	2,29
Chine	431 654	644 655	49,35	19,81	24,52	306,82	449,62	20,23	22,98	98 669	149 832	51,85	28,08	32,02
Égypte	14 728	23 224	57,69	0,68	0,88	159,32	231,34	52,17	53,33	2 402	3 787	57,66	0,68	0,81
États-Unis d'Amérique	502 105	538 259	7,20	23,05	20,47	1 546,66	1 619,40	36,40	40,91	58 082	61 890	6,56	16,53	13,23
Fédération de Russie	60 156	96 394	60,24	2,76	3,67	414,91	660,81	27,17	23,73	9 558	20 666	116,22	2,72	4,42
France	101 491	101 081	-0,40	4,66	3,84	1 510,19	1 486,96	54,50	60,34	14 016	12 788	-8,76	3,99	2,73
Inde	110 282	161 066	46,05	5,06	6,13	84,17	117,87	17,67	18,88	22 725	47 333	108,29	6,47	10,12
Indonésie	6 080	37 513	516,99	0,28	1,43	23,53	138,62	40,10	17,03	1 811	9 195	407,73	0,52	1,97
Iran	41 292	60 562	46,67	1,90	2,30	526,06	730,42	20,60	28,17	6 629	9 091	37,14	1,89	1,94
Israël	16 393	18 671	13,90	0,75	0,71	2 054,65	2 191,59	51,96	54,26	1 852	1 949	5,24	0,53	0,42
Italie	91 895	103 577	12,71	4,22	3,94	1 516,96	1 710,60	46,34	50,27	12 500	13 718	9,74	3,56	2,93
Japon	117 020	119 347	1,99	5,37	4,54	914,32	940,78	26,27	31,24	17 564	18 129	3,22	5,00	3,87
Malaisie	22 405	30 172	34,67	1,03	1,15	740,15	944,36	39,01	43,84	7 428	9 912	33,44	2,11	2,12
Mexique	18 321	23 508	28,31	0,84	0,89	150,35	184,27	40,28	44,95	2 662	3 414	28,25	0,76	0,73
République de Corée	71 719	81 327	13,40	3,29	3,09	1 411,15	1 587,63	26,89	29,33	12 992	15 793	21,56	3,70	3,38
Royaume-Uni	141 834	160 174	12,93	6,51	6,09	2 137,31	2 353,92	57,58	64,49	16 960	19 316	13,89	4,83	4,13
Turquie	36 308	43 245	19,11	1,67	1,64	462,35	518,34	21,16	25,12	3 876	5 927	52,92	1,10	1,27

Remarque : La somme des chiffres régionaux dépasse le total mondial, du fait que les travaux signés par de multiples auteurs issus de différentes régions sont comptabilisés dans chacune de ces régions.

Source : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales ; traitement des données par Science-Metrix

Tableau 1.5 : **Tendances mondiales concernant les publications scientifiques sur des technologies stratégiques transversales particulières, 2015 et 2019**

	Volume											
	IA et robotique		Biotechnologie		Énergie		Matériaux		Nanosciences et nanotechnologies		Opto-électronique	
	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019
Monde	**102 347**	**147 806**	**16 707**	**18 714**	**86 771**	**108 129**	**63 705**	**93 033**	**31 226**	**46 121**	**29 517**	**26 651**
Revenu élevé	65 365	74 661	9 869	9 394	49 997	57 245	31 625	40 729	21 104	27 979	18 560	15 330
Revenu intermédiaire supérieur	33 075	50 340	6 531	9 333	36 903	53 560	32 529	48 484	13 290	24 657	11 813	11 872
Revenu intermédiaire inférieur	13 052	37 389	2 283	2 937	7 890	12 701	6 097	15 194	2 035	3 588	1 293	1 816
Faible revenu	280	1 037	79	120	249	607	89	284	33	103	31	67
Amériques	**20 633**	**24 969**	**3 934**	**4 161**	**19 674**	**21 445**	**9 471**	**10 588**	**8 457**	**11 053**	**7 623**	**5 964**
Amérique du Nord	16 628	18 727	2 876	2 603	16 859	17 434	7 623	8 088	8 075	10 514	6 901	5 354
Amérique latine	4 211	6 524	1 122	1 651	3 152	4 394	1 974	2 661	478	670	800	655
Caraïbes	92	144	36	20	53	60	26	44	6	6	4	5
Europe	**40 993**	**47 402**	**4 883**	**4 984**	**26 524**	**31 950**	**19 124**	**28 125**	**8 181**	**11 040**	**9 781**	**8 299**
Union européenne	36 554	37 207	4 284	4 246	21 637	25 662	14 797	17 913	7 355	9 717	8 244	6 178
Europe du Sud-Est	382	336	79	86	325	313	201	302	41	37	37	30
Association européenne de libre-échange	1 851	2 034	191	215	1 635	1 837	680	804	589	861	382	334
Europe de l'Est	3 624	9 658	528	666	4 004	5 586	4 423	10 466	767	1 280	1 580	2 283
Afrique	3 207	4 752	551	844	2 710	4 443	1 185	2 451	400	604	310	445
Afrique subsaharienne	823	1 539	221	383	1 169	2 018	334	965	91	168	61	125
États arabes d'Afrique	2 389	3 225	334	467	1 563	2 450	862	1 505	311	441	254	330
Asie	**46 913**	**84 072**	**9 285**	**11 355**	**45 754**	**64 150**	**39 692**	**60 953**	**19 968**	**32 818**	**14 800**	**14 896**
Asie centrale	142	569	15	11	194	317	102	304	6	80	62	149
États arabes d'Asie	1 908	3 936	286	458	2 466	4 125	883	2 050	719	1 008	283	294
Asie de l'Est et du Sud-Est	33 662	50 330	6 854	8 491	36 498	50 194	33 248	49 993	17 598	28 957	13 139	13 030
Asie du Sud	9 956	29 049	1 896	2 179	5 045	7 976	4 599	7 961	1 566	2 875	837	1 118
Asie de l'Ouest	2 173	2 402	473	657	2 579	3 744	1 667	2 250	612	927	648	565
Océanie	**2 918**	**3 469**	**368**	**412**	**2 198**	**3 066**	**1 328**	**1 671**	**1 078**	**1 809**	**466**	**308**
Autres groupes												
Moins développés	325	1 126	82	132	289	630	95	295	32	111	33	67
Tous les États arabes	4 091	6 868	558	833	3 785	6 187	1 581	3 219	886	1 340	498	577
OCDE	60 878	66 911	9 396	9 105	45 852	51 576	28 260	32 085	18 834	24 861	16 979	13 274
G20	91 303	128 003	15 220	16 808	76 010	96 361	58 375	84 400	28 953	43 399	27 521	25 161
Org. de coopération islamique	9 685	20 149	1 759	2 604	11 790	15 537	5 659	13 942	1 740	2 767	1 426	1 585
Pays particuliers												
Afrique du Sud	511	701	85	145	529	959	214	441	72	84	40	93
Allemagne	6 712	6 726	827	776	3 950	4 305	3 262	3 441	1 949	2 684	1 995	1 507
Arabie Saoudite	927	1 265	192	195	1 075	1 662	519	849	584	639	159	146
Argentine	218	250	116	120	205	336	162	179	59	64	32	20
Australie	2 520	3 003	325	342	2 077	2 840	1 202	1 541	1 045	1 743	432	286
Brésil	2 037	2 640	684	1 032	1 641	2 181	1 331	1 654	256	293	405	341
Canada	2 792	3 217	413	431	2 752	2 937	1 111	1 227	794	1 143	780	630
Chine	20 414	29 766	3 891	5 608	24 352	38 521	24 863	35 942	11 554	22 270	9 559	10 010
Égypte	610	837	166	302	760	1 247	404	784	236	279	132	201
États-Unis d'Amérique	14 149	15 893	2 526	2 231	14 435	14 862	6 636	7 001	7 419	9 614	6 251	4 841
Fédération de Russie	1 986	5 704	254	273	2 527	3 259	2 949	8 357	455	903	1 161	1 898
France	5 215	4 536	512	461	2 755	2 667	2 031	1 900	1 170	1 350	1 374	945
Inde	9 276	26 779	1 770	1 918	4 562	6 609	4 152	7 257	1 433	2 550	717	969
Indonésie	822	3 229	57	138	670	1 098	166	4 264	16	86	42	182
Iran	1 357	1 613	406	590	2 366	3 463	1 514	1 952	369	548	312	314
Israël	745	638	59	56	165	196	122	216	236	361	308	215
Italie	4 380	4 773	496	436	3 429	3 683	1 242	1 651	953	1 128	959	664
Japon	4 891	5 917	973	953	3 778	3 293	3 481	3 295	1 841	2 225	1 847	1 603
Malaisie	1 685	4 404	357	446	3 550	1 821	1 137	2 598	258	307	236	138
Mexique	969	1 228	204	324	605	761	362	505	120	218	234	213
République de Corée	2 426	3 029	1 304	1 108	2 900	3 786	2 510	3 009	2 630	3 452	645	592
Royaume-Uni	5 700	6 192	472	578	3 903	4 947	2 166	2 458	1 488	2 072	1 410	950
Turquie	1 094	2 073	247	355	943	1 544	929	1 242	181	240	224	159

Remarque : La somme des chiffres et des pourcentages indiqués pour les diverses régions dépasse le chiffre total, du fait que les travaux signés par de multiples auteurs issus de différentes régions sont comptabilisés dans chacune de ces régions. Les six technologies transversales présentées ici étaient suivies de la bio-informatique, de l'Internet des objets, des études stratégiques, de défense et de sécurité et de la technologie de la chaîne de blocs. Voir le tableau 1.1 pour les chiffres régionaux.

	Part mondiale (%)											
	IA et robotique		Biotechnologie		Énergie		Matériaux		Nanosciences et nanotechnologies		Opto-électronique	
	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019
Monde	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**
Revenu élevé	63,87	50,51	59,07	50,20	57,62	52,94	49,64	43,78	67,58	60,66	62,88	57,52
Revenu intermédiaire supérieur	32,32	34,06	39,09	49,87	42,53	49,53	51,06	52,11	42,56	53,46	40,02	44,55
Revenu intermédiaire inférieur	12,75	25,30	13,66	15,69	9,09	11,75	9,57	16,33	6,52	7,78	4,38	6,81
Faible revenu	0,27	0,70	0,47	0,64	0,29	0,56	0,14	0,31	0,11	0,22	0,11	0,25
Amériques	**20,16**	**16,89**	**23,55**	**22,23**	**22,67**	**19,83**	**14,87**	**11,38**	**27,08**	**23,97**	**25,83**	**22,38**
Amérique du Nord	16,25	12,67	17,21	13,91	19,43	16,12	11,97	8,69	25,86	22,80	23,38	20,09
Amérique latine	4,11	4,41	6,72	8,82	3,63	4,06	3,10	2,86	1,53	1,45	2,71	2,46
Caraïbes	0,09	0,10	0,22	0,11	0,06	0,06	0,04	0,05	0,02	0,01	0,01	0,02
Europe	**40,05**	**32,07**	**29,23**	**26,63**	**30,57**	**29,55**	**30,02**	**30,23**	**26,20**	**23,94**	**33,14**	**31,14**
Union européenne	35,72	25,17	25,64	22,69	24,94	23,73	23,23	19,25	23,55	21,07	27,93	23,18
Europe du Sud-Est	0,37	0,23	0,47	0,46	0,37	0,29	0,32	0,32	0,13	0,08	0,13	0,11
Association européenne de libre-échange	1,81	1,38	1,14	1,15	1,88	1,70	1,07	0,86	1,89	1,87	1,29	1,25
Europe de l'Est	3,54	6,53	3,16	3,56	4,61	5,17	6,94	11,25	2,46	2,78	5,35	8,57
Afrique	**3,13**	**3,22**	**3,30**	**4,51**	**3,12**	**4,11**	**1,86**	**2,63**	**1,28**	**1,31**	**1,05**	**1,67**
Afrique subsaharienne	0,80	1,04	1,32	2,05	1,35	1,87	0,52	1,04	0,29	0,36	0,21	0,47
États arabes d'Afrique	2,33	2,18	2,00	2,50	1,80	2,27	1,35	1,62	1,00	0,96	0,86	1,24
Asie	**45,84**	**56,88**	**55,58**	**60,68**	**52,73**	**59,33**	**62,31**	**65,52**	**63,95**	**71,16**	**50,14**	**55,89**
Asie centrale	0,14	0,38	0,09	0,06	0,22	0,29	0,16	0,33	0,02	0,17	0,21	0,56
États arabes d'Asie	1,86	2,66	1,71	2,45	2,84	3,81	1,39	2,20	2,30	2,19	0,96	1,10
Asie de l'Est et du Sud-Est	32,89	34,05	41,02	45,37	42,06	46,42	52,19	53,74	56,36	62,78	44,51	48,89
Asie du Sud	9,73	19,65	11,35	11,64	5,81	7,38	7,22	8,56	5,02	6,23	2,84	4,19
Asie de l'Ouest	2,12	1,63	2,83	3,51	2,97	3,46	2,62	2,42	1,96	2,01	2,20	2,12
Océanie	**2,85**	**2,35**	**2,20**	**2,20**	**2,53**	**2,84**	**2,08**	**1,80**	**3,45**	**3,92**	**1,58**	**1,16**
Autres groupes												
Moins développés	0,32	0,76	0,49	0,71	0,33	0,58	0,15	0,32	0,10	0,24	0,11	0,25
Tous les États arabes	4,00	4,65	3,34	4,45	4,36	5,72	2,48	3,46	2,84	2,91	1,69	2,17
OCDE	59,48	45,27	56,24	48,65	52,84	47,70	44,36	34,49	60,32	53,90	57,52	49,81
G20	89,21	86,60	91,10	89,82	87,60	89,12	91,63	90,72	92,72	94,10	93,24	94,41
Org. de coopération islamique	9,46	13,63	10,53	13,91	13,59	14,37	8,88	14,99	5,57	6,00	4,83	5,95
Pays particuliers												
Afrique du Sud	0,50	0,47	0,51	0,77	0,61	0,89	0,34	0,47	0,23	0,18	0,14	0,35
Allemagne	6,56	4,55	4,95	4,15	4,55	3,98	5,12	3,70	6,24	5,82	6,76	5,65
Arabie saoudite	0,91	0,86	1,15	1,04	1,24	1,54	0,81	0,91	1,87	1,39	0,54	0,55
Argentine	0,21	0,17	0,69	0,64	0,24	0,31	0,25	0,19	0,19	0,14	0,11	0,08
Australie	2,46	2,03	1,95	1,83	2,39	2,63	1,89	1,66	3,35	3,78	1,46	1,07
Brésil	1,99	1,79	4,09	5,51	1,89	2,02	2,09	1,78	0,82	0,64	1,37	1,28
Canada	2,73	2,18	2,47	2,30	3,17	2,72	1,74	1,32	2,54	2,48	2,64	2,36
Chine	19,95	20,14	23,29	29,97	28,06	35,63	39,03	38,63	37,00	48,29	32,38	37,56
Égypte	0,60	0,57	0,99	1,61	0,88	1,15	0,63	0,84	0,76	0,60	0,45	0,75
États-Unis d'Amérique	13,82	10,75	15,12	11,92	16,64	13,74	10,42	7,53	23,76	20,85	21,18	18,16
Fédération de Russie	1,94	3,86	1,52	1,46	2,91	3,01	4,63	8,98	1,46	1,96	3,93	7,12
France	5,10	3,07	3,06	2,46	3,18	2,47	3,19	2,04	3,75	2,93	4,65	3,55
Inde	9,06	18,12	10,59	10,25	5,26	6,11	6,52	7,80	4,59	5,53	2,43	3,64
Indonésie	0,80	2,18	0,34	0,74	0,77	1,02	0,26	4,58	0,05	0,19	0,14	0,68
Iran	1,33	1,09	2,43	3,15	2,73	3,20	2,38	2,10	1,18	1,19	1,06	1,18
Israël	0,73	0,43	0,35	0,30	0,19	0,18	0,19	0,23	0,76	0,78	1,04	0,81
Italie	4,28	3,23	2,97	2,33	3,95	3,41	1,95	1,77	3,05	2,45	3,25	2,49
Japon	4,78	4,00	5,82	5,09	4,35	3,05	5,46	3,54	5,90	4,82	6,26	6,01
Malaisie	1,65	2,98	2,14	2,38	4,09	1,68	1,78	2,79	0,83	0,67	0,80	0,52
Mexique	0,95	0,83	1,22	1,73	0,70	0,70	0,57	0,54	0,38	0,47	0,79	0,80
République de Corée	2,37	2,05	7,81	5,92	3,34	3,50	3,94	3,23	8,42	7,48	2,19	2,22
Royaume-Uni	5,57	4,19	2,83	3,09	4,50	4,58	3,40	2,64	4,77	4,49	4,78	3,56
Turquie	1,07	1,40	1,48	1,90	1,09	1,43	1,46	1,34	0,58	0,52	0,76	0,60

Source : Scopus (Elsevier), hors lettres, sciences humaines et sciences sociales ; traitement des données par Science-Metrix

RAPPORT DE L'UNESCO SUR LA SCIENCE

Une course contre la montre pour un développement plus intelligent

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Il est frappant de constater à quel point les priorités de développement se sont homogénéisées au cours des cinq dernières années. Les pays, quel que soit leur niveau de revenu, ont fait de leur transition simultanée vers des économies numériques et « vertes » une priorité. Cette double transition reflète un double impératif. D'une part, le temps presse pour que les pays atteignent leurs Objectifs de développement durable à l'horizon 2030. D'autre part, les pays sont convaincus que leur compétitivité économique future dépendra de la vitesse à laquelle ils opèreront leur transition vers des sociétés numériques. Le sous-titre du *Rapport de l'UNESCO sur la science*, « Une course contre la montre pour un développement plus intelligent », renvoie à ces deux priorités.

Cette septième édition du *Rapport* analyse la trajectoire de développement suivie par les pays au cours des cinq dernières années du point de vue de la gouvernance scientifique. Il rassemble des informations sur la transformation rapide des sociétés qui est en cours. Celle-ci ouvre de nouvelles possibilités d'expérimentation sociale et économique, mais risque également d'exacerber les inégalités sociales, à moins que des garde-fous ne soient mis en place.

Le *Rapport* conclut que les pays devront investir davantage dans la recherche et l'innovation s'ils veulent réussir leur double transition numérique et écologique. Plus de 30 pays ont déjà augmenté leurs dépenses de recherche depuis 2014, conformément à leur engagement à l'égard des Objectifs de développement durable. Malgré ces progrès, huit pays sur dix consacrent encore moins de 1 % de leur PIB à la recherche, perpétuant ainsi leur dépendance vis-à-vis des technologies étrangères.

Étant donné que les entreprises devront être le moteur d'une grande partie de cette double transition verte et numérique, les gouvernements s'efforcent de faciliter l'innovation par le secteur privé grâce à des instruments politiques novateurs, tels que des pôles d'innovation numérique où les entreprises peuvent « tester avant d'investir » dans les technologies numériques. Certains gouvernements tâchent également d'améliorer la condition des chercheurs par des hausses de salaire et d'autres moyens. L'effectif mondial des chercheurs a fortement augmenté depuis 2014.

La pandémie de COVID-19 a stimulé les systèmes de production de connaissances. Cette dynamique s'inscrit dans la tendance à l'intensification de la collaboration scientifique internationale, qui est de bon augure pour relever d'autres défis mondiaux tels que le changement climatique et la perte de biodiversité. Cependant, d'après une nouvelle étude de l'UNESCO, la recherche sur la durabilité reste marginale dans les publications académiques, même si les pays investissent plus qu'auparavant dans les technologies vertes.

unesco