

Rapport sur le développement industriel 2020

L'industrialisation à l'ère numérique Vue d'ensemble



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Rapport sur le développement industriel 2020

L'industrialisation à l'ère numérique
Vue d'ensemble



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Copyright © 2019 Organisation des Nations Unies pour le développement industriel

Les dénominations utilisées dans le présent document et la présentation de son contenu n'impliquent aucune prise de position du Secrétariat ni sur le statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni sur le tracé de leurs frontières ou limites.

Les qualificatifs « développé », « en développement », « industrialisé », « pionnier », « suiveur », « retardataire » ou « à la traîne » sont employés à des fins statistiques et n'expriment aucun jugement sur le stade atteint dans le processus de développement d'un pays ou d'une région.

La mention de noms d'entreprises ou de produits commerciaux n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'ONUDI.

Le contenu de ce document peut être librement cité ou reproduit, sous réserve de mentionner l'ONUDI et de lui fournir une copie de la publication reproduisant la citation ou le texte concerné.

Pour les références et citations, veuillez utiliser : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel, 2019. *Rapport sur le développement industriel 2020. L'industrialisation à l'ère numérique. Vue d'ensemble*. Vienne.

Table des matières

Page

v	Avant-propos
vii	Remerciements
ix	Abréviations

Vue d'ensemble L'industrialisation à l'ère numérique

1	Pourquoi nous préoccuper des nouvelles technologies ?
1	Les technologies amènent un DIID à l'aide de nouveaux produits et processus
2	Quelles sont les nouvelles technologies façonnant le paysage industriel ?
3	Une transition évolutive vers les technologies de PNA
4	Qui crée et qui utilise les technologies de PNA ?
4	Un paysage mondial concentré
7	Au sein des pays, seule une poignée d'entreprises adoptent complètement les technologies de PNA
9	La diffusion des nouvelles technologies est également concentrée par industrie et par taille
10	Que requiert l'adoption des technologies de PNA ?
10	Des capacités industrielles sont indispensables au niveau du pays
11	Les capacités industrielles sont renforcées dans les entreprises manufacturières
14	L'adoption exige également que la main-d'œuvre dispose de compétences spécifiques
15	Quels dividendes les technologies de PNA peuvent-elles procurer ?
16	Encourager la productivité
16	Renforcement des liaisons intersectorielles
17	Créer des emplois, pas les détruire
19	Préserver l'environnement
20	Les dividendes ne sont pas automatiques et comportent des risques
22	Quelles réponses des politiques faut-il pour mettre les technologies de PNA au service du DIID ?
23	Certains domaines généraux d'action des politiques demandent une attention particulière
26	Appel à une collaboration internationale accrue
27	Notes
27	Références
29	Annexe

Figures

2	1	Nouvelles technologies et développement industriel inclusif et durable
3	2	Grands domaines technologiques de la quatrième révolution industrielle
4	3	Technologies de production : de la première à la quatrième révolution industrielle
5	4	Éléments constitutifs des technologies de production numérique avancées
7	5	Quatre générations de technologies de production numérique appliquées à l'industrie manufacturière
8	6	L'adoption des technologies de PNA est encore limitée dans les pays en développement
9	7	Les taux d'adoption des principales technologies de PNA diffèrent d'une industrie à l'autre en Europe
11	8	L'adoption des technologies de PNA requiert d'accroître les capacités industrielles
14	9	Les capacités de production sont essentielles à l'adoption d'une innovation technologique des processus
15	10	Dividendes attendus des technologies de PNA
16	11	L'adoption de technologies de PNA est positivement associée à la productivité
17	12	Les économies actives dans les technologies de PNA croissent plus rapidement que les autres, toutes catégories de revenu confondues
18	13	Dans les économies activement engagées dans les technologies de PNA, les industries manufacturières sont plus intégrées avec les services aux entreprises à forte intensité de connaissances, quel que soit le groupe de revenu.
18	14	Impact total sur l'emploi mondial de l'augmentation de l'utilisation des robots industriels dans les industries individuelles
20	15	Les technologies de PNA ont un contenu écologique supérieur à la moyenne
20	16	La majorité des entreprises engagées dans des technologies de PNA ou prêtes à le faire conviennent que celles-ci entraîneront des améliorations environnementales
22	17	Les travailleuses courent un risque d'informatisation plus élevé que les hommes lorsqu'elles travaillent dans l'alimentation, le textile et les produits chimiques

Tableaux

6	1	Des économies pionnières à celles à la traîne dans le paysage technologique émergent
12	2	Accumuler les capacités d'investissement, technologiques et de production en vue d'une production numérique avancée
23	3	Domaines d'action politique visant à mettre les technologies de PNA au service du DIID
29	A1	Pays et économies par niveau d'engagement dans les technologies de PNA

Avant-propos



L'émergence et la diffusion des technologies de production numérique avancées (PNA) de la quatrième révolution industrielle (4RI) modifient radicalement la production manufacturière, estompant de plus en plus la frontière entre les systèmes de production physiques et numériques. Les progrès de la

robotique, de l'intelligence artificielle, de la fabrication additive et de l'analyse des données offrent d'importantes possibilités d'accélérer l'innovation et d'accroître le contenu à valeur ajoutée de la production dans les industries manufacturières.

Ce Rapport sur le développement industriel 2020 contribue au débat sur la quatrième révolution industrielle, en présentant de nouvelles informations analytiques et empiriques sur l'avenir de l'industrialisation dans le contexte du changement de paradigme technologique en cours.

Une crainte fréquente concerne le fait que les robots remplaceront les ouvriers des usines, de sorte que l'industrialisation ne créera pas le même nombre d'emplois que par le passé. Une autre est que les pays avancés récupéreront la production précédemment externalisée. Une troisième est que le seuil minimum de compétences et de capacités requises pour rester compétitif dans le secteur manufacturier sera tellement élevé qu'il exclura la plupart des pays de la prochaine phase de la production manufacturière. Ce rapport examine de manière empirique la validité de ces questions.

Une constatation majeure de cette publication est que l'industrialisation reste la principale voie pour un développement réussi. L'industrialisation permet aux pays de construire et renforcer les compétences et capacités nécessaires pour soutenir la concurrence et réussir dans le cadre du nouveau paradigme technologique. L'analyse montre que les technologies de PNA appliquées à la production manufacturière offrent un potentiel énorme pour faire progresser la croissance économique et le bien-être humain et pour protéger l'environnement, contribuant ainsi à l'Agenda 2030 du développement durable (ASD 2030 – Agenda 2030 for

Sustainable Development). Cela concerne, en particulier, l'Objectif de développement durable (ODD) 9 (« Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation »), qui est au cœur du mandat de l'ONU. Ces technologies peuvent accroître l'efficacité et la productivité des processus de production industrielle, et il est prouvé qu'elles peuvent également aider à créer de nouvelles industries.

Cette publication montre également que, même si un grand nombre d'emplois seront vulnérables à l'automatisation à mesure que les nouvelles technologies pénétreront les différents pays et industries, il est probable que de nouvelles industries et de nouveaux emplois seront créés dans des secteurs plus qualifiés et fondés sur le savoir. Les éléments présentés dans ce rapport suggèrent que, lorsque les effets indirects intervenant le long de la chaîne de valeur sont pris en compte, l'augmentation du stock de robots utilisés dans la fabrication au niveau mondial ne détruit, en réalité, pas des emplois, mais en crée. Les informations sur la relocalisation (back-shore) depuis les économies émergentes vers les économies industrialisées à la suite de l'adoption de nouvelles technologies indiquent que ce phénomène n'est pas généralisé. On constate que cette relocalisation est contrebalancée par une production offshore dans les pays en développement, qui crée des opportunités d'emplois et des liaisons en amont et en aval dans la chaîne de valeur.

L'impact des technologies de PNA sur les pays en développement dépendra en fin de compte des réponses apportées par leurs politiques. Il n'existe aucune stratégie politique universelle pour mettre les nouvelles technologies au service d'un développement industriel inclusif et durable. Notre rapport 2020 propose des orientations stratégiques pour les politiques à adopter à mesure que la quatrième révolution industrielle s'intensifiera dans les années à venir. Trois domaines méritent une attention particulière : i) la mise en place des conditions-cadres, notamment l'infrastructure numérique, pour accueillir les nouvelles technologies ; ii) l'encouragement de la demande et l'exploitation des initiatives en cours utilisant les technologies de PNA ; et iii) le renforcement des compétences et des capacités de recherche requises. Le rapport fournit plusieurs exemples de politiques

spécifiques actuellement mises en œuvre dans différents pays pour traiter chacun de ces aspects.

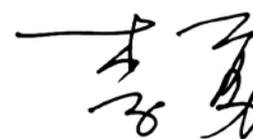
Un constat frappant issu de ce rapport est le nombre élevé des pays qui doivent encore entrer dans l'ère des avancées technologiques en cours. De vastes régions du monde, principalement dans les pays les moins avancés et autres pays à faible revenu, sont encore loin d'utiliser les technologies de PNA à un niveau significatif. Les données recueillies en vue du présent rapport auprès des entreprises de cinq pays en développement confortent cette constatation, en montrant que le secteur manufacturier de ces pays est caractérisé par des « îlots technologiques », où un petit nombre de chefs de file numériques (quand il y en a) coexistent avec une vaste majorité d'entreprises utilisant des technologies dépassées. Jusqu'à 70 % du secteur manufacturier des « économies à la traîne » utilisent encore des technologies analogiques dans leur production manufacturière.

L'absence de diffusion des technologies potentiellement utiles renforce l'appel à un renforcement supplémentaire du partenariat mondial pour le développement durable. Il est impératif d'intensifier les efforts visant à mobiliser et partager les connaissances, l'expertise, la technologie et les ressources financières en vue de respecter l'impératif de l'Agenda 2030 du développement durable de ne laisser personne de côté. Les pays à faible revenu ont besoin d'infrastructures et de compétences numériques appropriées pour tirer parti de la quatrième révolution industrielle et éviter le risque de prendre encore plus de retard.

Ce rapport montre que les pays à faible revenu ont intérêt à se lancer dans la production manufacturière, à renforcer leurs capacités industrielles, et à apprendre comment utiliser ces technologies de manière productive. Une croissance économique soutenue, inclusive et durable est essentielle à la prospérité.

Je me félicite que ce rapport apporte une dimension originale à l'analyse des nouvelles technologies et à la quatrième révolution industrielle, et réaffirme le rôle de l'industrialisation en tant que moteur du développement. Un développement industriel inclusif et durable contribuera à la construction d'économies dynamiques, durables, innovantes et axées sur l'homme. Nous devons tout mettre en œuvre pour y parvenir, au moment où la communauté internationale progresse vers la réalisation de l'Agenda 2030 du développement durable.

Je remercie les membres du personnel de l'ONUDI et les experts internationaux qui ont travaillé sur ce rapport, et j'espère que celui-ci servira de document de référence dans le débat international sur le développement de la quatrième révolution industrielle.



LI Yong
Directeur général, ONUDI

Remerciements

Le Rapport sur le développement industriel (RDI) 2020 a été élaboré sous la supervision générale de Li Yong, directeur général de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI). Il est le fruit de deux années d'intenses efforts de recherche, de discussions fructueuses et d'étroite collaboration d'une équipe interne dirigée par Cecilia Ugaz, directrice du Département des politiques, de la recherche et des statistiques. L'équipe a été coordonnée par Alejandro Lavopa, qui a joué un rôle décisif dans la bonne réalisation du rapport. Elle comprenait Elisa Calza, Nicola Cantore, Nelson Correa, Smeeta Fokeer, Nobuya Haraguchi, Fernando Santiago Rodríguez et Adnan Serica.

L'élaboration du rapport a grandement bénéficié des apports d'une série de documents d'information commandés à cet effet et produits par les experts suivants : Ramiro Albrieu, Caterina Brest López et Martín Rapetti, Centre pour la mise en œuvre des politiques publiques en faveur de l'équité et de la croissance (CIPPEC) ; Antonio Andreoni, School of Oriental and African Studies (SOAS – École des études orientales et africaines) de l'Université de Londres ; Guendalina Anzolin, Université d'Urbino ; Francesco Bogliacino, Université nationale de Colombie ; Cristiano Codagnone, Université de Milan et Université ouverte de Catalogne ; Bernhard Dachs, Institut autrichien de technologie ; Michele Delera, Neil Foster-McGregor, Carlo Pietrobelli, Önder Nomaler et Bart Verspagen, Centre de recherche et de formation économiques et sociales de Maastricht pour l'innovation et la technologie de l'Université des Nations Unies de Maastricht (UNU-MERIT) ; João Carlos Ferraz, David Kupfer, Jorge Nogueira de Paiva Britto et Julia Torracca, Institut de sciences économiques de l'Université fédérale de Rio de Janeiro (IE-UFRJ) ; Mahdi Ghodsi, Oliver Reiter, Robert Stehrer et Roman Stöllinger, Institut de Vienne pour les études économiques internationales (WIIW) ; Chiharu Ito, Michiko Iizuka et Izumi Suzuki, Institut national des hautes études politiques de Tokyo (GRIPS) ; Bart Kemp et Raquel Vázquez, Institut basque de la compétitivité (Orkestra) ; Erika Kraemer-Mbula, Université de Johannesburg ; Keun Lee, Université nationale de Séoul ; Amaia Martínez et Cristina Oyón, Agence basque de développement des entreprises (SPRI) ;

Mario Pianta, Université de Rome III ; Alina Sorgner, Université John Cabot.

Pour étayer le travail d'analyse de ce rapport, des enquêtes auprès des entreprises soigneusement pensées ont été conçues et mises en œuvre dans trois pays : Ghana, Thaïlande et Viet Nam. L'équipe remercie les institutions partenaires suivantes pour leur travail méticuleux dans la collecte des données correspondantes : le Conseil pour la recherche scientifique et industrielle (CSIR) – Institut de recherche sur les politiques en matière de sciences et de technologies (STEPRI) au Ghana ; l'Agence de promotion de l'économie numérique (DEPA) en Thaïlande ; et le Centre national d'information et de prévisions socioéconomiques (NCIF) au Viet Nam. Ces enquêtes ont été élaborées en suivant l'approche proposée au Brésil par la Confédération nationale brésilienne de l'industrie (CNI) et reproduite en Argentine par l'Union industrielle argentine (UIA) en coopération avec le CIPPEC et l'Institut pour l'intégration de l'Amérique latine et des Caraïbes de la Banque interaméricaine de développement (INTAL-BID). Nous remercions ces institutions d'avoir facilité l'accès aux microdonnées des enquêtes concernées de ces deux pays.

Pour compléter les résultats de l'enquête, l'équipe a également réuni des études de cas sur des entreprises manufacturières d'autres pays en développement. Nous remercions tout particulièrement Ciyong Zou et le personnel des bureaux extérieurs de l'ONUDI qui ont rendu possible le processus de collecte des données, à savoir : Manuel Albaladejo, Nadia Aftab, Ralf Bredel, Sooksiri Chamsuk, Stein Hansen, Hanan Hanzaz, Muhammad Hammad Bashir Saeed, Lina Touri, René van Berkel, Rajeev Vijh et Süleyman Yilmaz. Ce travail a reçu l'appui de Valeria Cantera, Nurshat Karabashov, Sebastián Pérez, Nidhi Sharma, Hongfei Yue et Azhar Zia-ur-Rehman. Nous sommes également reconnaissants envers les institutions suivantes, qui ont facilité la collecte des données dans certains pays : le ministère chinois de l'Industrie et des Technologies de l'information, le ministère malaisien du Commerce international et de l'Industrie, l'Association turque de l'industrie et du commerce (TUSIAD), et la Chambre des industries de l'Uruguay (CIU).

Le rapport a largement bénéficié des commentaires constructifs de membres du Conseil d'administration de l'ONUDI, à savoir Fatou Haidara, Hiroshi Kuniyoshi et Philippe Scholtes. Nous remercions aussi tout particulièrement John Weiss, professeur émérite à l'Université de Bradford, Jörg Mayer, chargé principal des affaires économiques auprès de la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED), et Alistair Nolan, analyste senior des politiques auprès de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), qui ont minutieusement révisé la version préliminaire du rapport et considérablement amélioré plusieurs de ses parties.

Bon nombre des concepts introduits et développés dans ce rapport ont été présentés et discutés au cours de deux ateliers réunissant des experts internationaux au siège de l'ONUDI, à Vienne, en novembre 2018 et avril 2019, ainsi que lors de présentations internes avec des membres du personnel de l'ONUDI en mai 2019. Au cours de ces réunions, des observations judicieuses ont été émises par Sara Amoroso, Commission européenne – Centre commun de recherche ; et Mike Gregory, Université de Cambridge ; ainsi que par des membres du personnel de l'ONUDI : Arno Behrens, Kai Bethke, Bernardo Calzadilla, Tsung Ping Chung, Michele Clara, Jacek Cukrowski, Tareq

Emtairah, Ayumi Fujino, Dong Guo, Anders Isaksson, Jaehwan Jung, Bettina Schreck, Nilgun Tas, Valentin Todor et Shyam Upadhyaya. En outre, d'autres membres du personnel de l'ONUDI, Weixi Gong, Nan Ji, Olga Memedovic et Alejandro Rivera, ont fourni de précieux commentaires sur le projet.

Les auteurs du rapport ont bénéficié de l'aide d'une talentueuse équipe d'assistants de recherche et de stagiaires à l'ONUDI, notamment Jürgen Amann, Shengxi Cao, Charles Fang Chin Cheng, Alessandra Celani de Macedo et Lorenzo Navarini. Des membres du personnel de l'ONUDI, Angie Belsaguy, Nevena Nenadic et Iguaraya Saavedra, ont apporté une importante aide administrative, tandis que Niki Rodousakis assurait la tâche de secrétaire de rédaction. Lors de la phase finale, Ascha Lychett Pedersen, consultante à l'ONUDI, a joué un rôle crucial dans la préparation du rapport à l'impression. Le rapport a été édité et conçu par une équipe de Communications Development Incorporated, dirigée par Bruce Ross-Larson et composée de Joseph Brinley, Joe Caponio, Mike Crumplar, Debra Naylor (Naylor Design), Chris Trott et Elaine Wilson.

La traduction française a été réalisée par JPD Systems, LLC et révisée par Ibrahima Sory Kaba, qui a relu le document et contribué à son amélioration stylistique.

Abréviations

1RI	Première révolution industrielle
2RI	Deuxième révolution industrielle
3RI	Troisième révolution industrielle
4RI	Quatrième révolution industrielle
BRICS	Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud
CAO	Conception assistée par ordinateur
CNC	Commande numérique pilotée par ordinateur (Computerized numerical control)
CPS	Système cyberphysique (Cyber-Physical System)
CVM	Chaîne de valeur mondiale
DIID	Développement industriel inclusif et durable
EFTP	Enseignement et formation techniques et professionnels
ESEP	Entrées-sorties entre pays
FAO	Fabrication assistée par ordinateur
FITN	À forte intensité technologique et numérique
IdO	Internet des objets
M2M	Machine-à-machine (Machine-to-machine)
ODD	Objectif de développement durable
ONUDI	Organisation des Nations Unies pour le développement industriel
PCI	Performance compétitive de l'industrie
PIB	Produit intérieur brut
PIO	Production intégrée par ordinateur
PMA	Pays les moins avancés
PME	Petites et moyennes entreprises
PNA	Production numérique avancée
R&D	Recherche et développement
RDI	Rapport sur le développement industriel
RFID	Identification par radiofréquences (Radio frequency identification)
SEFIC	Services aux entreprises à forte intensité de connaissances
STIM	Science, technologie, ingénierie et mathématiques
TIC	Technologies de l'information et de la communication
TNP	Technologies numériques de production
VAM	Valeur ajoutée manufacturière

Vue d'ensemble

L'industrialisation à l'ère numérique

Les technologies de production numérique avancées peuvent encourager un développement industriel inclusif et durable et la réalisation des ODD

L'émergence et la diffusion des technologies de PNA – intelligence artificielle, analyse de données massives (big data), informatique en nuage (cloud computing), Internet des objets (IdO), robotique avancée, et fabrication additive, entre autres – modifient radicalement la nature de la production manufacturière et estompent progressivement la frontière entre les systèmes de production physiques et numériques. Dans des conditions favorables, l'adoption de ces technologies par les pays en développement peut favoriser un développement industriel inclusif et durable (DIID) et la réalisation des objectifs de développement durable (ODD).

Seules quelques économies et entreprises créent et adoptent des technologies de PNA

La création et la diffusion des technologies de PNA demeurent toutefois concentrées à l'échelle mondiale, avec un faible développement dans la plupart des économies émergentes. Selon le Rapport sur le développement industriel 2020, 10 économies (les pionnières) sont responsables de 90 % des brevets mondiaux et de 70 % des exportations directement associées à ces technologies. Viennent ensuite, 40 autres économies (les suiveuses) qui adoptent ces technologies, mais de manière beaucoup plus modérée. Les économies restantes, soit affichent une faible activité (les retardataires) soit ne prennent pas du tout part à la création et à l'utilisation de ces technologies (les économies à la traîne).

Les technologies de PNA offrent néanmoins des possibilités inédites de rattrapage

Les technologies de PNA offrent des possibilités nouvelles de rattrapage, mais leur exploitation nécessite une base minimale de capacités industrielles. Une relation clairement positive relie le rôle de pionnières, suiveuses, retardataires ou à la traîne joué par les économies dans la création et l'utilisation de ces technologies, et les capacités industrielles moyennes de ces économies. Une plus grande implication dans ces technologies est associée à des taux plus élevés de croissance de la valeur ajoutée manufacturière

(VAM), résultant principalement de gains de productivité plus rapides. De plus, contrairement aux idées reçues, l'emploi augmente dans les pays en développement activement engagés dans les technologies de PNA.

Pourquoi nous préoccuper des nouvelles technologies ?

Les technologies amènent un DIID à l'aide de nouveaux produits et processus

Nouvelles technologies et développement industriel inclusif et durable

Les nouvelles technologies sont au cœur d'un DIID réussi. Elles permettent la création de nouveaux produits et, par conséquent, l'émergence de nouvelles industries. Elles contribuent également à une amélioration de l'efficacité de la production, qui fait baisser les prix et ouvre le marché à une consommation de masse, ou bien accroît les profits, avec d'éventuels effets sur l'investissement (figure 1). Dans un contexte favorable, les nouvelles technologies peuvent également encourager la durabilité environnementale et l'inclusion sociale.

De nouvelles industries découlent des nouvelles technologies

Les nouvelles technologies peuvent conduire à des innovations dans les produits et entraîner ainsi l'émergence de nouvelles industries, ainsi que des emplois et revenus qui leur sont associés. Cela soutient l'industrialisation et l'inclusion sociale. Lorsque ces innovations visent à réduire les impacts environnementaux, grâce à l'introduction de la fabrication verte, elles favorisent également la durabilité environnementale du processus industriel.

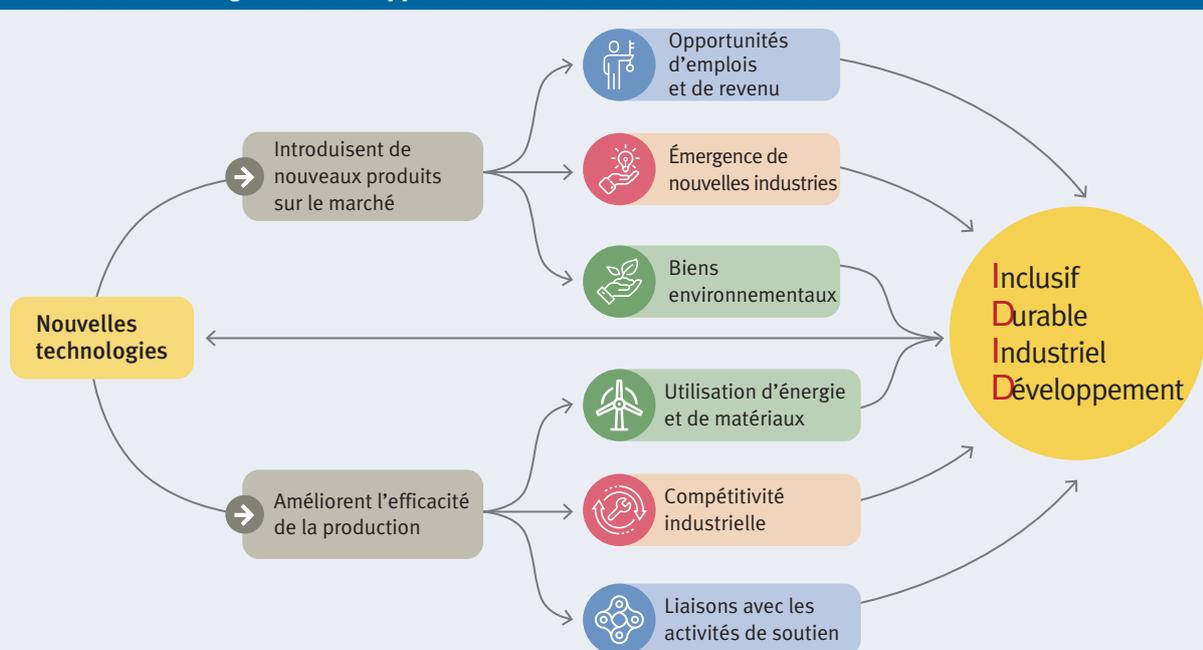
La compétitivité industrielle dépend en fin de compte de la modernisation technologique

Les nouvelles technologies peuvent également accroître l'efficacité de la production – qui est essentielle pour la durabilité et la promotion de la compétitivité industrielle – et étendre ainsi la production manufacturière. Dans de nombreux cas, la mise en œuvre elle-même des nouvelles

Les nouvelles technologies sont au cœur d'un DIID réussi

Figure 1

Nouvelles technologies et développement industriel inclusif et durable



Note : La partie supérieure de la figure montre comment les nouvelles technologies amènent un développement industriel inclusif et durable (DIID) en introduisant de nouveaux produits sur le marché. La partie inférieure illustre la façon dont les nouvelles technologies de production contribuent également au DIID en améliorant l'efficacité de la production. À mesure que l'industrialisation progresse, le potentiel d'innovation des pays s'accroît. C'est ce que montre la flèche droite allant de la droite vers la gauche.
Source : Élaboré par l'ONU/DI.

VUE D'ENSEMBLE

technologies nécessite des intrants et services supplémentaires de la part d'autres secteurs de l'économie, accroissant ainsi les effets multiplicateurs du développement industriel en dehors des limites de l'usine. Une efficacité accrue est associée à une réduction des émissions de polluants et de la consommation de matériaux et d'énergie par unité de production, qui peut améliorer la durabilité environnementale du processus.

Quelles sont les nouvelles technologies façonnant le paysage industriel ?

Il y a d'abord eu les révolutions industrielles de la vapeur, de l'électricité et de l'informatique

Différentes vagues de progrès technologiques ont favorisé le développement économique depuis la première révolution industrielle (1RI). L'invention de la machine à vapeur, la mécanisation de tâches simples et la construction des chemins de fer l'ont déclenchée entre 1760 et 1840. L'avènement de l'électricité, des chaînes de montage et de la

production de masse a donné lieu à la deuxième révolution industrielle (2RI) entre la fin du XIXe siècle et le début du XXe. Le développement des semi-conducteurs et de puissants ordinateurs centraux dans les années 1960, puis des ordinateurs personnels et d'Internet, a été le vecteur de la troisième révolution industrielle (3RI).

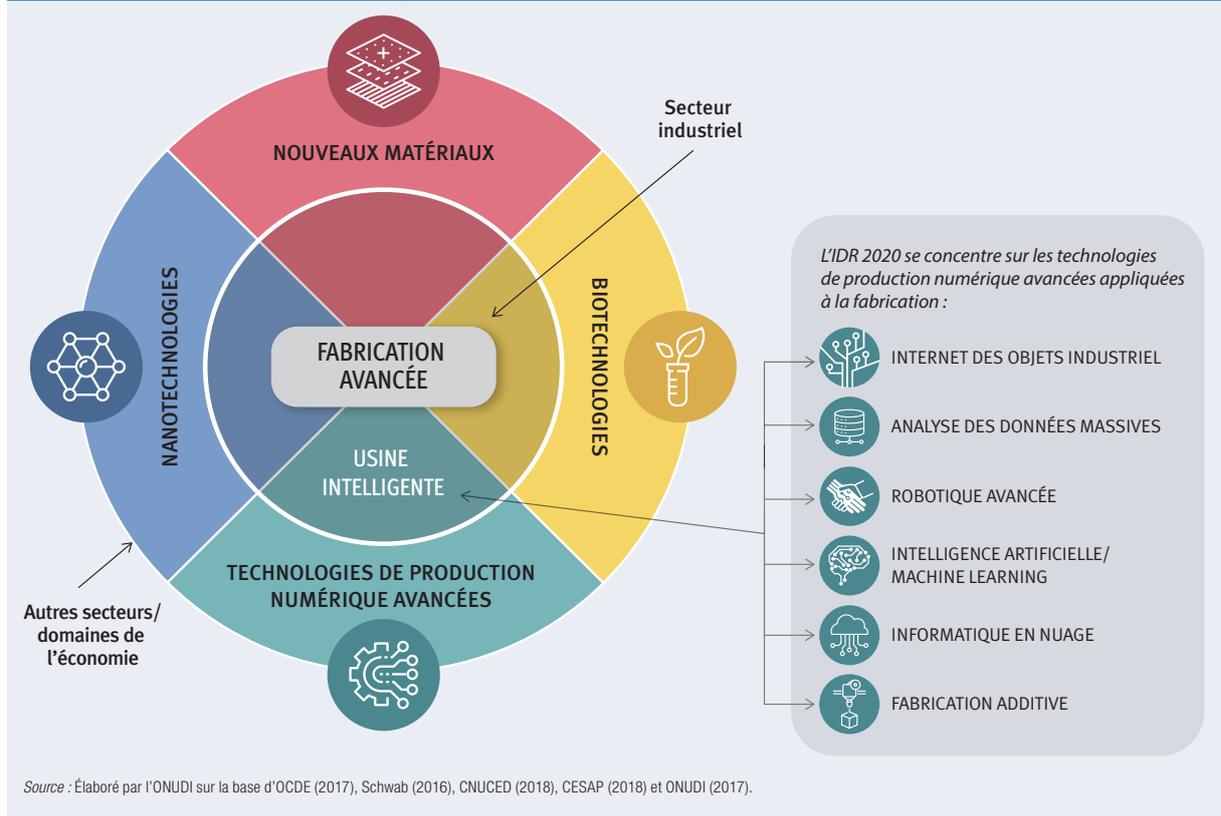
Une nouvelle vague se fraie un chemin dans le paysage industriel

Les récentes percées technologiques semblent générer une nouvelle vague, communément qualifiée de quatrième révolution industrielle (4RI). Le concept repose sur la convergence croissante de différents domaines technologiques émergents (technologies de production numérique, nanotechnologies, biotechnologies et nouveaux matériaux) et leur complémentarité dans la production (figure 2). La fabrication avancée est le terme généralement utilisé pour désigner l'adoption de ces technologies dans la production manufacturière. Dans le cas particulier des technologies de PNA, leur application à la fabrication donne lieu

« Les technologies de PNA donnent lieu à des systèmes de production intelligents

Figure 2

Grands domaines technologiques de la quatrième révolution industrielle



à des systèmes de production manufacturière intelligents, également connus sous le nom d'usines intelligentes (smart factories) ou d'industrie 4.0. La production intelligente implique l'intégration et le contrôle de la production à l'aide de capteurs et d'un équipement connectés au sein de réseaux numériques, ainsi que la fusion des mondes réel et virtuel dans des systèmes appelés cyberphysiques (CPS – Cyber-Physical Systems), avec le soutien de l'intelligence artificielle. Ce passage à la production manufacturière intelligente devrait laisser une marque durable sur le paysage industriel.

Une transition évolutive vers les technologies de PNA

Les technologies de la quatrième révolution industrielle sont issues de la production industrielle traditionnelle

Les technologies de PNA sont les dernières venues dans l'évolution des technologies de production industrielle traditionnelles (figure 3). En fait, beaucoup de ces technologies

ont évolué ou émergé en respectant les mêmes principes d'ingénierie et d'organisation que ceux des révolutions précédentes, suggérant ainsi plus une « transition évolutive » qu'une « perturbation révolutionnaire ». Par exemple, les processus d'automatisation remontent à la 1RI, tandis que l'adoption des robots date au moins des années 1960 (Andreoni et Anzolin, 2019).

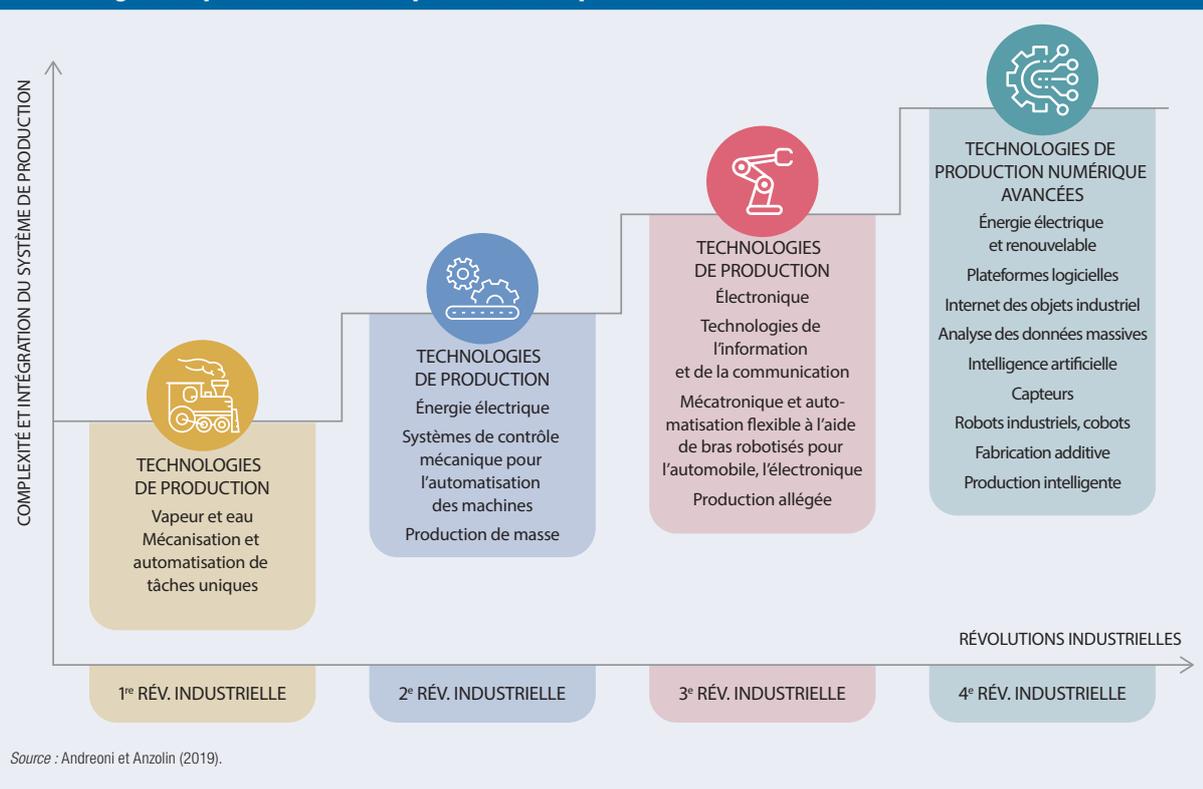
Le matériel de PNA est un mélange d'ancien et de nouveau

Les technologies de PNA sont le fruit d'une combinaison de trois grandes composantes : le matériel, les logiciels et la connectivité (figure 4). Les composantes matérielles sont constituées d'outils, d'outillage et de l'équipement complémentaire de robots industriels modernes et de systèmes automatisés intelligents, ainsi que de cobots (robots coopérant avec les travailleurs dans l'exécution de tâches) et d'imprimantes 3D pour la fabrication additive. Cet ensemble de technologies matérielles de production est en grande partie similaire à celui existant déjà dans la 3RI. Ce qui rend ces machines

« Les révolutions technologiques de l'histoire ont divisé le monde entre économies chefs de file et suiveuses

Figure 3

Technologies de production : de la première à la quatrième révolution industrielle



différentes c'est leur connectivité, leur flexibilité et leur fonctionnalité dans l'exécution de tâches productives.

La connectivité de la PNA constitue un grand changement par rapport à la fabrication plus ancienne

Dans les technologies de PNA, la connectivité est réalisée à l'aide de capteurs placés dans le matériel ainsi que grâce aux actionneurs et capteurs ajoutés aux machines et outils. Une fois que les machines et outils sont capables de percevoir le processus de production et les produits (leurs composants, matériaux et propriétés fonctionnelles), ils deviennent également capables de collecter et transmettre des données à travers l'Internet des objets industriel. Ce type de connectivité ouvre la voie à un changement de paradigme d'une production centralisée à une production décentralisée.

La connectivité mène à des systèmes intelligents en réseau

Les technologies de production deviennent entièrement numériques une fois que leur connectivité est améliorée par des logiciels permettant une analyse de données massives, c'est-à-dire des outils capables de traiter de grands volumes

de données en temps quasi réel. Prenant appui sur la fabrication assistée par ordinateur (FAO), la production intégrée par ordinateur (PIO) et la conception assistée par ordinateur (CAO), ainsi que sur les améliorations apportées par les technologies de l'information et de la communication (TIC) au cours de la 3RI, les logiciels de la 4RI ont ouvert la voie aux systèmes cyberphysiques. Il s'agit de systèmes intelligents en réseau, dotés de capteurs, de processeurs et d'actionneurs intégrés, qui sont conçus pour percevoir le monde physique et interagir avec lui en temps réel.

Qui crée et qui utilise les technologies de PNA ?

Un paysage mondial concentré

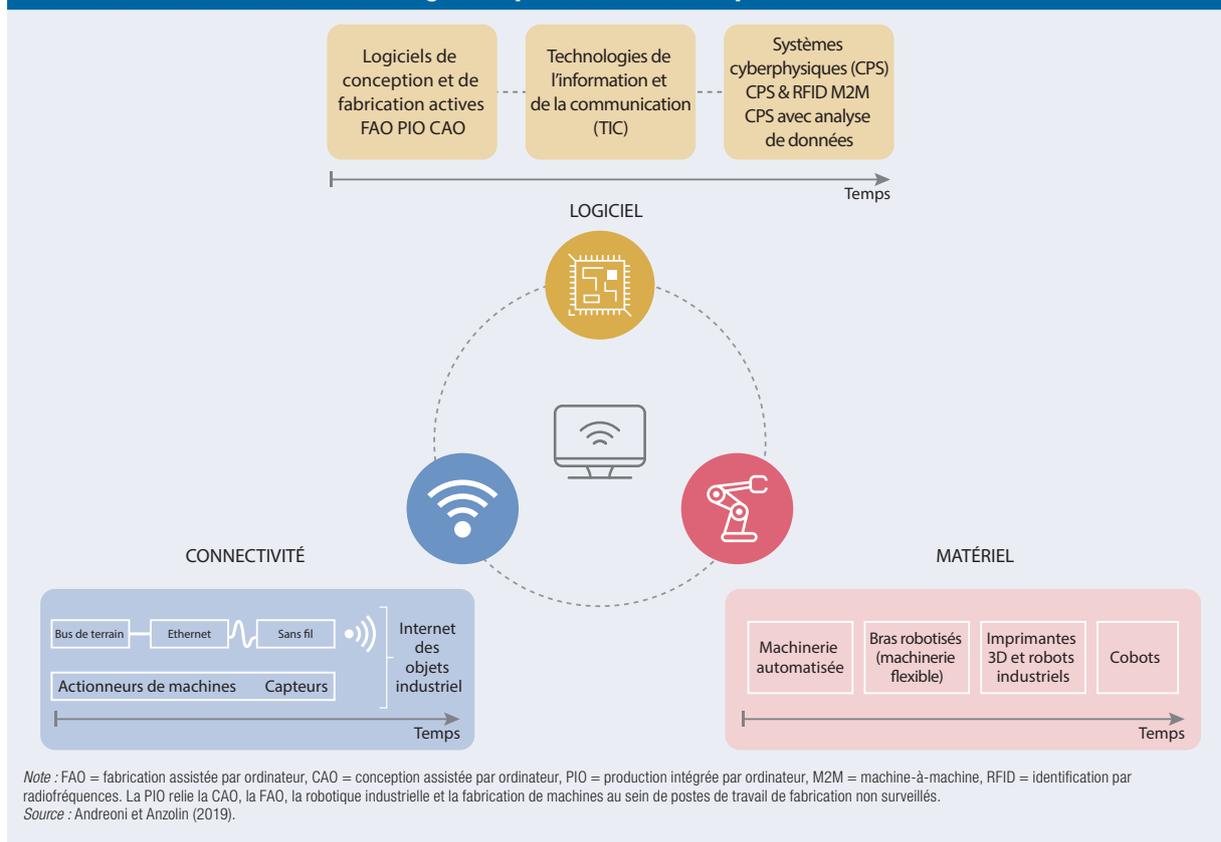
Les révolutions industrielles comptent des économies chefs de file et suiveuses

Les révolutions technologiques de l'histoire ont divisé le monde entre économies chefs de file et suiveuses, en fonction de leur implication dans la création et l'utilisation

« 10 économies comptabilisent 91 % des brevets mondiaux déposés pour des technologies de PNA

Figure 4

Éléments constitutifs des technologies de production numérique avancées



des technologies émergentes. Dans de nombreux cas, d'importantes parties du monde sont restées complètement exclues de la révolution en cours, n'y entrant qu'après plusieurs décennies, lorsque les technologies étaient devenues suffisamment bon marché et que le déficit de capacités s'était réduit. Une préoccupation majeure à l'aube d'une nouvelle révolution, est le degré auquel tous les pays – en particulier ceux encore en train d'essayer de développer des capacités industrielles de base – parviendront à s'intégrer dans le paysage technologique émergent.

Les économies les plus avancées ont l'activité de PNA la plus importante

Les percées technologiques actuelles en matière de PNA divisent elles aussi le monde entre chefs de file, suiveurs et à la traîne. Une caractéristique marquante de la création et diffusion des technologies de PNA est leur extrême concentration, en particulier en ce qui concerne le dépôt de brevets

et l'exportation. Dans la distribution tant du brevetage que des exportations, la moyenne est très élevée par rapport à la médiane, et seules quelques économies la dépassent. Ainsi, celles occupant le sommet (au-delà de la moyenne) expliquent la majeure partie de l'activité mondiale dans chaque domaine.

Dix économies pionnières concentrent 90 % des brevets et 70 % des exportations

Seules 10 économies affichent des parts de marché supérieures à la moyenne dans le dépôt de brevets pour des technologies de PNA.¹ Dans l'ordre de leurs parts, ces 10 économies sont : les États-Unis, le Japon, l'Allemagne, la Chine, la province chinoise de Taïwan, la France, la Suisse, le Royaume-Uni, la République de Corée et les Pays-Bas (tableau 1). Ensemble, elles comptabilisent 91 % de l'ensemble des familles de brevets mondiaux. Ce groupe de pays précède le reste du monde en ce qui concerne la création

Seules 50 économies peuvent être considérées comme ayant activement adopté les technologies de PNA

Tableau 1

Des économies pionnières à celles à la traîne dans le paysage technologique émergent

Groupe	Courte description	Critères	
Pionnières (10 économies)	Palmarès des 10 premiers chefs de file dans le domaine des technologies de PNA	Économies ayant au moins 100 demandes de familles de brevets mondiaux pour des technologies de PNA (valeur moyenne pour toutes les économies ayant une certaine activité de dépôt de brevet dans ce domaine)	
Suiveuses en matière de production (23 économies)	En tant qu'innovatrices	Économies activement impliquées dans le dépôt de brevets pour des technologies de PNA	Économies ayant au moins 20 demandes de familles de brevets classiques ou 10 demandes de familles de brevets mondiaux pour des technologies de PNA (valeurs moyennes pour toutes les économies ayant une certaine activité de dépôt de brevets, après exclusion des pionnières)
	En tant qu'exportatrices	Économies activement impliquées dans l'exportation de produits liés à la PNA	Économies relativement spécialisées dans l'exportation de produits liés à la PNA, vendant des volumes importants sur les marchés mondiaux (au-delà de la part de marché moyenne après exclusion des pionnières)
Suiveuses en matière d'utilisation (17 économies)	En tant qu'exportatrices	Économies activement impliquées dans l'importation de produits liés à la PNA	Économies relativement spécialisées dans l'importation de produits liés à la PNA, achetant des volumes importants sur les marchés mondiaux (au-delà de la part de marché moyenne après exclusion des pionnières)
Retardataires en matière de production (16 économies)	En tant qu'innovatrices	Économies ayant une certaine activité de dépôt de brevets pour des technologies de PNA	Économies ayant au moins une demande de famille de brevets classiques pour des technologies de PNA
	En tant qu'exportatrices	Économies ayant une certaine activité d'exportation de produits liés à la PNA	Économies affichant une relative spécialisation dans l'exportation de produits liés à la PNA ou vendant de gros volumes sur les marchés mondiaux (au-delà de la part de marché moyenne après exclusion des pionnières)
Retardataires en matière d'utilisation (13 économies)	En tant qu'exportatrices	Économies ayant une certaine activité d'importation de produits liés à la PNA	Économies affichant une relative spécialisation dans l'importation de produits liés à la PNA ou achetant de gros volumes sur les marchés mondiaux (au-delà de la part de marché moyenne après exclusion des pionnières)
À la traîne (88 économies)	Économies très peu ou pas impliquées dans les technologies de PNA	Toutes les autres économies non reprises dans les groupes précédents	

Économies activement engagées dans les technologies de PNA

VUE D'ENSEMBLE

Notes : La caractérisation concerne 167 économies qui, selon la Division de la statistique des Nations Unies, comptaient plus de 500 000 habitants en 2017. Voir le tableau A1 figurant en annexe pour les économies appartenant à chaque catégorie.
Source : Élaboré par l'ONU.DI.

de nouvelles technologies de PNA. Ils ne se contentent pas d'inventer les nouvelles technologies, mais vendent (et achètent) également sur les marchés mondiaux, les produits intégrant ces technologies – dont ils représentent près de 70 % des exportations et 46 % des importations mondiales. Ces économies sont les pionnières des technologies de PNA.

Quarante économies suivent, mais avec des valeurs plus faibles
D'autres économies sont également impliquées dans les nouvelles technologies, mais avec des valeurs plus faibles. Israël, l'Italie et la Suède, par exemple, détiennent une part importante des brevets mondiaux, tandis que la valeur des exportations de l'Autriche et du Canada est élevée. De leur côté, le Mexique, la Thaïlande et la Turquie ont des valeurs d'importation élevées. Ces économies font partie des suiveurs

dans cette course technologique. Sur base des valeurs moyennes des indicateurs de brevets, d'exportation et d'importation, après exclusion des pionniers, le rapport identifie 40 économies susceptibles d'entrer dans cette catégorie. Elles représentent 8 % des brevets mondiaux et presque la moitié de l'ensemble des importations de produits intégrant ces technologies.

L'activité du reste du monde dans ce domaine est faible ou très faible à nulle

Ensemble, seules 50 économies (les pionnières et les suiveuses) peuvent être considérées comme ayant activement adopté les technologies de PNA. Elles les produisent ou les utilisent à un degré saisi dans les statistiques des pays. Les activités des autres économies dans ce domaine sont faibles (chez les retardataires) ou très faibles à nulles (chez celles à la traîne).

« Différentes générations de technologie numérique appliquée à la fabrication coexistent dans la plupart des pays

Au sein des pays, seule une poignée d'entreprises adoptent complètement les technologies de PNA

La quatrième révolution industrielle ne touche qu'une petite partie de l'économie dans la plupart des pays

La caractérisation mondiale présentée ci-dessus est confirmée lorsqu'on observe le secteur industriel de chaque pays. Différentes générations de technologie numérique appliquée à la production manufacturière coexistent dans la plupart des pays, et celles associées à la 4RI n'ont pénétré qu'une faible partie du secteur.

Les pays en développement adaptent des technologies de la 4RI à des systèmes incomplets relevant de la 3RI

Dans les pays en développement, les entreprises utilisent encore les technologies de la 3RI – souvent de manière peu efficace. À cause de leur manque de maîtrise de ces

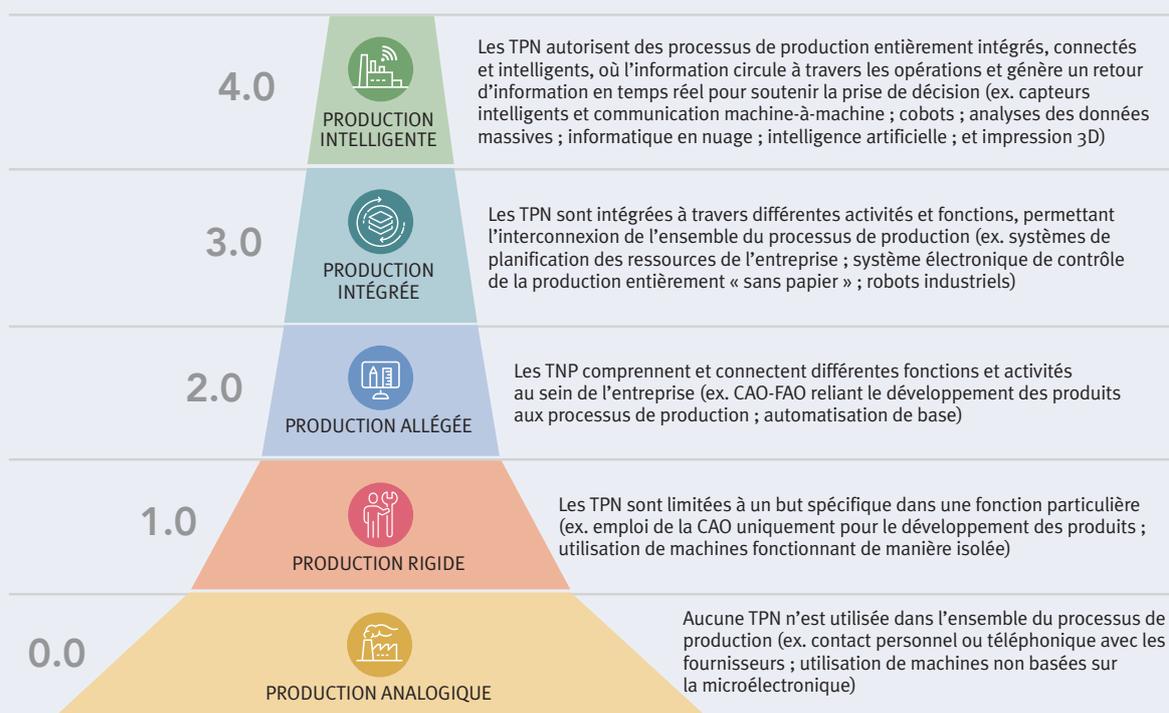
technologies – automatisation de base et TIC –, il leur est également difficile de profiter pleinement des opportunités offertes par les technologies de PNA et la 4RI. Les principales possibilités consistent donc pour ces pays à intégrer progressivement ces nouvelles technologies dans les systèmes de production remontant à la 3RI, en modernisant les usines de production dans des domaines de l'entreprise où l'intégration est possible (Andreoni et Anzolin, 2019).

Différentes générations technologiques coexistent

En partant de l'idée qu'à un moment donné, les entreprises de différents pays sont susceptibles d'utiliser une combinaison de technologies numériques issues de différents paradigmes technologiques autres qu'analogique, le RDI 2020 identifie quatre générations de productions manufacturières numériques sur la base de leur utilisation de plus en plus sophistiquée des technologies numériques (Figure 5).²

Figure 5

Quatre générations de technologies de production numérique appliquées à l'industrie manufacturière



Notes : TPN = technologie de production numérique, CAO = conception assistée par ordinateur, et FAO = fabrication assistée par ordinateur.
Source : Élaboré par l'ONUDI sur base de Kupfer, Ferraz et Torracca (2019).

Seule une poignée d'entreprises manufacturières adoptent des technologies de PNA

La production est encore analogique dans pas moins de 70 % des entreprises

Le bas de la pyramide correspond à un stade initial de production où les technologies numériques ne sont utilisées dans aucun secteur de l'entreprise. Telle semble être la réalité dans les pays les moins avancés (PMA) et les économies à faible revenu. La majeure partie du secteur manufacturier des pays classés comme à la traîne entre dans cette catégorie. Au Ghana, par exemple, presque 70 % des entreprises interrogées dans le cadre de ce rapport appartiennent à la catégorie analogique. Une fois que les entreprises commencent à adopter les technologies numériques, on distingue quatre générations. La première, la production rigide, est caractérisée par l'utilisation d'applications numériques à des fins spécifiques et de manière isolée. La deuxième, la production allégée, comporte une automatisation semi-flexible de la production à l'aide de la technologie numérique, accompagnée d'une intégration partielle dans différents secteurs de l'entreprise. La troisième, la production intégrée, implique l'utilisation des technologies numériques dans l'ensemble des fonctions de l'entreprise. Le quatrième et dernier mode est caractérisé par l'utilisation des technologies numériques avec retour d'information pour soutenir la prise de décision.

Passer à la génération suivante nécessite d'énormes changements

Les générations 1.0 et 2.0 existent depuis l'apparition des systèmes de programmation à commande numérique (à la fin des années 1950), même si les dispositifs tels que la CAO ont évolué de façon exponentielle au cours des dernières années grâce à l'ingénierie paramétrique. Bien que l'efficacité et la qualité des processus aient été considérablement améliorées, le passage de la génération 1.0 à la génération 2.0 ne nécessite pas de changements organisationnels majeurs. Par contre, la transition de la génération 2.0 à la génération 3.0 requiert d'importantes modifications – pour pleinement intégrer les fonctions organisationnelles, avec une standardisation efficace et complète des processus et des systèmes d'information. La génération 4.0 implique, elle, l'utilisation de solutions basées sur la technologie de PNA, telles que les appareils de communication avancés, les robots, les capteurs, les données massives et l'intelligence artificielle.

Peu d'entreprises utilisent les technologies les plus avancées

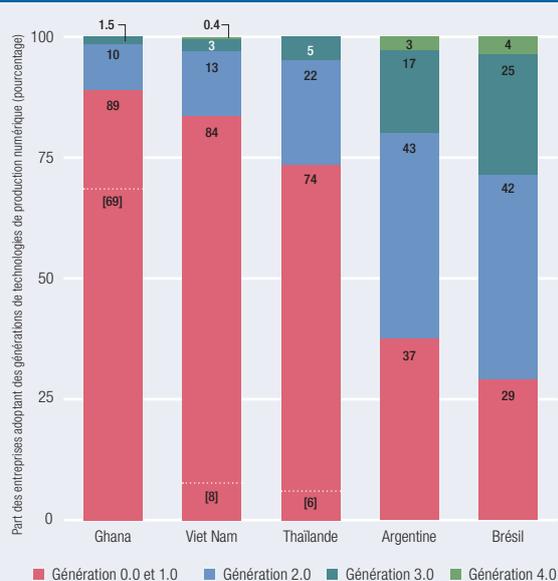
Les données recueillies pour cinq pays montrent que seule une poignée d'entreprises manufacturières adoptent des technologies de PNA (figure 6). Malgré de grandes différences entre les pays, dans toutes les économies considérées,

la diffusion des dernières générations de technologies numériques (3.0 et 4.0) est balbutiante : ceux qui les adoptent constituent une niche, allant de 1,5 % au Ghana à environ 30 % au Brésil. Les résultats de l'enquête montrent également comment différentes générations de technologies coexistent dans les pays en développement, créant des « îlots technologiques », où quelques entreprises dotées de technologies avancées sont entourées par une majorité d'entreprises opérant à un niveau technologique nettement plus ancien.

Le saut dans la 4RI dépend de la situation du pays et de l'industrie

Une question clé pour les pays où la majorité des entreprises manufacturières se situe loin en dessous de la frontière – quelque part entre l'analogique et la génération 1.0 – est de déterminer comment gravir l'échelle technologique. En particulier, peuvent-elles sauter certaines générations ou même passer directement à la plus avancée ? Les différences de capacités, de dotation, de caractéristiques organisationnelles et d'efforts technologiques, ainsi que la situation

Figure 6
L'adoption des technologies de PNA est encore limitée dans les pays en développement



Notes : Les chiffres entre parenthèses sont ceux des entreprises de la génération 0.0. Pour l'Argentine et le Brésil, aucune information n'est disponible pour cette génération en raison de la structure de leurs questionnaires d'enquête.

Source : Élaboré par l'ONUDI sur la base des données recueillies par son enquête auprès des entreprises « Adoption de technologies de production numérique par les entreprises industrielles » (pour le Ghana, la Thaïlande et le Viet Nam), ainsi que d'Albrieu et coll. (2019) et de Kupfer et coll. (2019) (pour l'Argentine et le Brésil).

« Certaines industries manufacturières sont plus susceptibles d'adopter les technologies de PNA

des institutions et infrastructures nationales expliquent pourquoi certaines entreprises (et pays) réussissent à gravir l'échelle, et d'autres pas.

La diffusion des nouvelles technologies est également concentrée par industrie et par taille

La diffusion des technologies de PNA est inégale entre les industries

Des différences d'intensité technologique et de processus de production rendent certaines industries manufacturières d'un pays plus susceptibles d'adopter les technologies de PNA. Deux secteurs se détachent : les ordinateurs et machines, et le matériel de transport. Ces industries affichent une adoption des principales technologies de PNA supérieure à la moyenne (figure 7). L'utilisation de l'informatique en nuage et des technologies d'impression 3D par l'industrie des ordinateurs et des machines est de 10 à 15 points de pourcentage supérieure à la moyenne. L'industrie du matériel de transport vient en deuxième position, mais est première en ce qui concerne l'utilisation de robots industriels dans la fabrication. À mesure que les technologies de PNA poursuivront leur diffusion, d'autres industries (même à faible intensité technologique) pourraient prendre la tête de l'adoption de ces technologies.

Les pionniers et les suiveurs ont tendance à être spécialisés dans ces industries

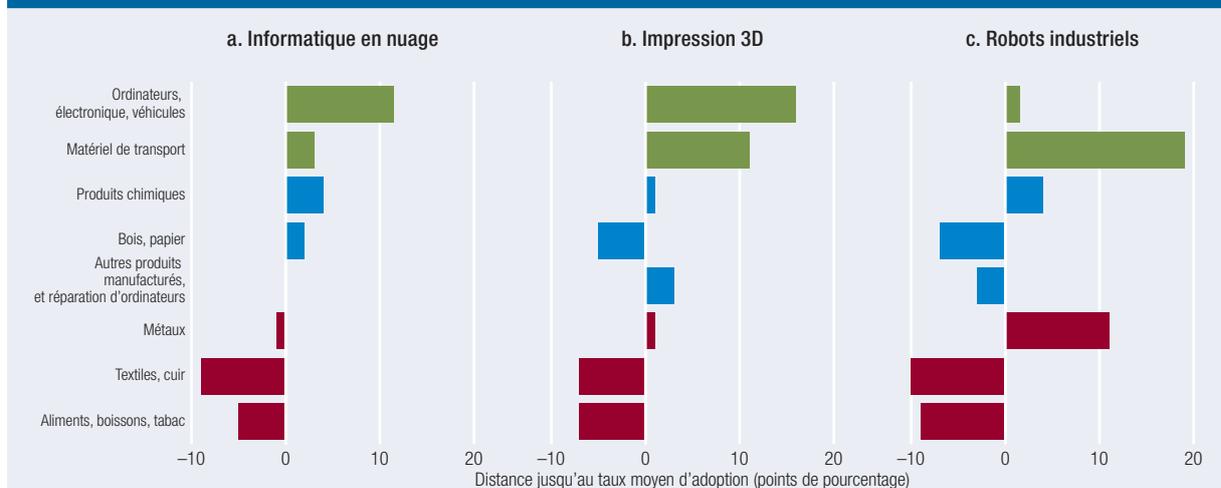
L'engagement plus fort des pionniers et des suiveurs dans les technologies de PNA provient également du fait que leurs valeurs ajoutées manufacturières comprennent une part nettement plus importante d'industries à forte intensité technologique et numérique (FITN) (incluant les ordinateurs et machines ainsi que le matériel de transport). Ces industries ont pris de l'importance, en particulier après 2005, où la diffusion des technologies de PNA a décollé. Cette performance supérieure est fortement déterminée par la croissance de la productivité. Toutefois, le facteur sous-tendant leur développement n'est pas tant la substitution de la main-d'œuvre par de nouvelles technologies que la contribution de ces technologies à la compétitivité et à l'expansion des industries, qui ont rendu le processus de développement inclusif grâce à la croissance à la fois de la productivité et de l'emploi.

Les grandes entreprises adoptent plus de technologies de PNA

La taille compte également lorsqu'il s'agit de la technologie de PNA. Grâce, mais pas uniquement, aux investissements plus importants que leur permettent leurs ressources, les grandes entreprises ont tendance à être dotées de capacités technologiques et de production les rendant plus

Figure 7

Les taux d'adoption des principales technologies de PNA diffèrent d'une industrie à l'autre en Europe



Notes : Toutes les valeurs concernent 2018 et sont agrégées sur les 28 pays de l'Union européenne. Le taux d'adoption est défini comme le pourcentage des entreprises d'une industrie utilisant une technologie donnée. Pour des raisons de disponibilité des données, les produits chimiques sont regroupés avec les produits pétroliers raffinés et les produits non métalliques (codes CITI 19 à 23). Les couleurs des barres indiquent la classification des industries en fonction de leur intensité technologique et numérique. Vert = industries FITN (industries à forte intensité à la fois technologique et numérique). Bleu = industries à forte intensité soit technologique soit numérique, mais pas les deux. Rouge = industries dont ni l'intensité technologique ni l'intensité numérique ne sont fortes. Les barres indiquent la distance par rapport au taux moyen d'adoption dans toutes les industries manufacturières, en points de pourcentage.

Source : Élaboré par l'ONUDI sur la base d'Eurostat (2019).

« Pour pouvoir adopter les technologies de PNA, les économies en développement doivent renforcer leurs capacités industrielles

susceptibles d'adopter les nouvelles technologies. Les données sur les cinq pays étudiés en vue de ce rapport appuient cet argument puisqu'elles mettent en évidence la part plus importante des entreprises de plus grande taille adoptant les dernières générations (générations 3.0 et 4.0) des technologies de production numérique. En Argentine, par exemple, le taux d'adoption au sein des grandes entreprises (de plus de 100 employés) dépasse le taux moyen de 20 points de pourcentage. Néanmoins, dans certains cas (tel que celui de la Thaïlande) la pénétration des nouvelles technologies peut également être forte dans les petites entreprises.

Que requiert l'adoption des technologies de PNA ?

Des capacités industrielles sont indispensables au niveau du pays

Les pays en développement sont confrontés à cinq grands défis

La grande majorité des pays en développement sont loin de pouvoir se poser en acteurs avertis dans ce domaine en raison des défis spécifiques qu'ils ont à affronter pour adopter les nouvelles technologies. Ces défis peuvent être regroupés en cinq grandes rubriques (Andreoni et Anzolin, 2019) :

- *Capacités de base.* Les capacités de production nécessaires pour absorber, déployer et diffuser les technologies de PNA le long des chaînes logistiques sont rares et inégalement réparties. Ces technologies ont également relevé le « seuil de capacité de base », non parce qu'elles sont entièrement nouvelles, mais parce qu'elles impliquent la fusion de technologies nouvelles et existantes en systèmes technologiques intégrés complexes.
- *Rénovation et intégration.* Les entreprises des pays en développement capables de consentir des investissements dans les technologies de ce type ont déjà engagé des ressources dans des technologies plus anciennes, et doivent apprendre comment moderniser leurs usines de production existantes et y intégrer les nouvelles technologies de production numérique. L'installation d'usines entièrement neuves est plus rare, car elle nécessite d'importants investissements à long terme et un accès aux marchés.
- *Infrastructure numérique.* L'utilisation de ces technologies dans la production requiert une infrastructure

conséquente. Certains pays en développement ont beaucoup de mal à fournir une électricité abordable et de qualité ainsi qu'une connectivité fiable. Ces problèmes d'infrastructure et autres peuvent rendre les investissements technologiques des entreprises trop risqués et financièrement non viables.

- *Déficit de capacités numériques.* Dans de nombreux pays en développement, des entreprises peuvent adopter certaines technologies de PNA, mais bon nombre d'entre elles ne sont utilisées qu'en interne, et à l'occasion, par quelques fournisseurs proches dotés des capacités de production de base pour le faire. Autour de ces îlots de quatrième révolution industrielle, la grande majorité des entreprises utilisent encore des technologies typiques de la troisième, voire de la deuxième révolution industrielle. Dans ce contexte, les entreprises chefs de file éprouvent d'énormes difficultés à établir des liaisons en amont et à entretenir leurs chaînes logistiques. Lorsque ce déficit de capacités numériques est extrême, la diffusion des technologies de PNA reste très limitée.
- *Accès et abordabilité.* Ces technologies ont tendance à être contrôlées par un nombre limité de pays et leurs entreprises chefs de file. Les pays en développement sont fortement tributaires de l'importation de ces technologies, et dans de nombreux cas, lorsqu'ils sont en mesure de mobiliser les ressources nécessaires pour y accéder, ils restent dépendants des fournisseurs pour les composantes matérielles et logicielles.

Pour pouvoir adopter les technologies de PNA, les économies en développement doivent renforcer leurs capacités industrielles

Tous ces défis mènent au même constat : le renforcement des capacités de production industrielle de base est une condition préalable à l'entrée dans la quatrième révolution industrielle. Les différences d'adoption des technologies de PNA reflètent l'hétérogénéité des capacités industrielles à travers le monde : les pionniers ont tendance à disposer de plus de capacités industrielles que les suiveurs, qui eux-mêmes ont des capacités plus importantes que les retardataires, dont les capacités sont plus fortes que chez celles des pays à la traîne. Dans chaque groupe, une distinction claire peut également être établie sur base de la production (innovation et exportation), qui nécessite des capacités industrielles plus importantes que l'utilisation.

« Les capacités industrielles d'un pays dépendent en fin de compte des capacités de ses entreprises

Les capacités industrielles distinguent les pionniers et suiveurs des retardataires et de ceux à la traîne

En 2017, les pionniers affichaient un indice moyen de performance compétitive de l'industrie (PCI) nettement plus élevé que celui de tous les autres groupes de pays (figure 8). L'indice de PCI de l'ONUDI reflète la performance industrielle des pays et peut, par conséquent, être utilisé en tant que variable de remplacement pour leurs capacités industrielles sous-jacentes – une PCI plus élevée peut être associée à des capacités industrielles plus fortes. La PCI des suiveurs en matière de production atteignait en moyenne la moitié de celle des pionniers, tout en étant plus élevée que celle des suiveurs en matière d'utilisation. Les suiveurs affichaient également des PCI plus élevées que celles des retardataires, qui eux-mêmes se classaient mieux que ceux à la traîne. Dans chaque catégorie, la valeur moyenne de la PCI est supérieure à celle de la précédente, illustrant ainsi l'échelle des capacités industrielles que les pays doivent grimper pour s'engager et améliorer leurs rôles dans l'utilisation et la production des technologies de PNA.

Les capacités industrielles sont renforcées dans les entreprises manufacturières

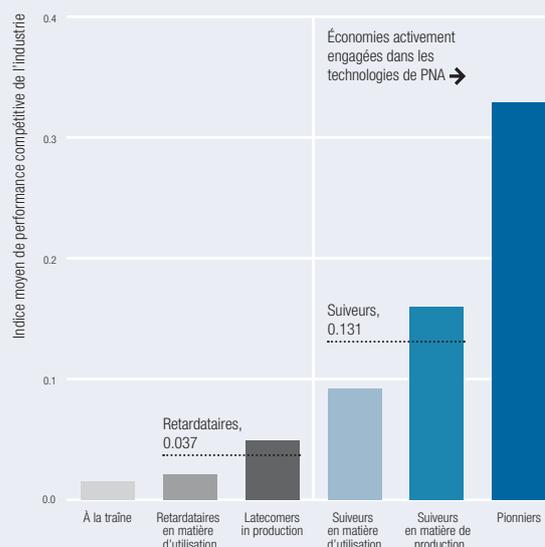
Les capacités des entreprises sont des conditions préalables à l'adoption des nouvelles technologies

Les capacités industrielles d'un pays dépendent en fin de compte des capacités de ses entreprises. La diffusion des technologies de PNA dépend donc de l'acquisition des capacités requises par les entreprises, c'est-à-dire des routines ou procédures d'exécution permettant d'obtenir de manière répétée un certain degré de performance dans un contexte donné, et résultant de l'apprentissage au sein d'une organisation (Cohen et coll., 1996). De nombreuses capacités différentes sont nécessaires pour adopter les technologies de PNA, mais leur acquisition est loin d'être un processus facile ou linéaire.

Les capacités d'investissement et technologiques ainsi que de production sont essentielles pour l'adoption et l'utilisation des nouvelles technologies

Les capacités d'investissement et technologiques permettent à une entreprise de s'adapter à l'évolution des technologies. Elles comprennent les connaissances, les ressources et les compétences technologiques dont les entreprises ont besoin pour adopter et utiliser l'équipement et la technologie, accroître la production et l'emploi, et encore améliorer leurs compétences technologiques et leurs activités commerciales. Les capacités de production sont liées à l'expérience, à

Figure 8
L'adoption des technologies de PNA requiert d'accroître les capacités industrielles



Note : Valeurs moyennes de l'indice de performance compétitive de l'industrie pour l'année 2017. Source : Élaboré par l'ONUDI à partir de la base de données des indices de performance compétitive de l'industrie 2019 (ONUDI, 2019b) et de l'ensemble de données de Foster et coll. (2019) tiré de la Base de données statistique mondiale des brevets 2019, édition d'automne (OEB, 2019).

l'apprentissage par l'action et aux comportements des entrepreneurs en matière de production. Ces capacités constituent pour les entreprises le premier pas vers l'acquisition de la base nécessaire à d'autres améliorations technologiques.

Les capacités s'acquièrent progressivement

L'acquisition de capacités est souvent un processus progressif : à mesure que les entreprises et les pays s'industrialisent, ils développent des capacités de base, puis passent à des niveaux technologiques supérieurs. Le classement des capacités des entreprises des pays en développement en capacités de base, intermédiaires et avancées met en évidence les étapes que doivent franchir les entreprises pour acquérir des capacités au fil du temps (tableau 2). Les entreprises doivent passer par ce processus pour saisir les occasions offertes par les technologies de PNA et demeurer concurrentielles et novatrices.

Les capacités de production de base demeurent essentielles

La maîtrise des capacités de base – souvent associées à la production – est essentielle pour le déploiement efficace des nouvelles technologies et le maintien de l'efficacité. Même les activités productives les plus simples nécessitent souvent l'activation et la mise en correspondance de grappes

« Dans les pays en développement un nombre important d'acteurs peu qualifiés coexistent avec d'autres plus avancés »

Tableau 2

Accumuler les capacités d'investissement, technologiques et de production en vue d'une production numérique avancée

	Investissement	Technologie	Production
BASE	<p>Simple, basé sur la routine</p> <p>Étude de faisabilité</p> <p>Analyse de base du marché et de la concurrence</p> <p>Finance de base et gestion des flux financiers</p>	<p>Recherche externe d'information (par exemple auprès des fournisseurs, réseautage au sein de l'industrie, information du public)</p> <p>Formation de base et perfectionnement des compétences</p> <p>Recrutement de personnel qualifié</p>	<p>Coordination de routine des usines</p> <p>Travaux d'ingénierie de routine</p> <p>Entretien de routine</p> <p>Adaptation mineure et optimisation du processus de production</p> <p>Conception, prototypage et personnalisation de base des produits</p> <p>Conformité aux normes des produits et du processus, gestion de la qualité des produits</p> <p>Gestion de la qualité</p> <p>Comptabilité de base</p> <p>Emballage et logistique de base</p> <p>Publicité de base</p> <p>Suivi des fournisseurs</p> <p>Analyse de base des exportations et quelques liaisons avec des acheteurs étrangers</p>
INTERMÉDIAIRE	<p>Adaptatif, basé sur la recherche, l'expérimentation, la coopération externe</p> <p>Saisie des opportunités de marché</p> <p>Recherche d'équipement et de machines</p> <p>Passation de marchés d'équipement et de machines</p> <p>Négociation des contrats</p> <p>Négociation du crédit</p>	<p>Saisie des opportunités technologiques</p> <p>Transfert de technologie</p> <p>Collaboration technologique avec les fournisseurs/acheteurs (aval et amont)</p> <p>Transfert vertical de technologie (si dans la chaîne de valeur mondiale)</p> <p>Liaisons avec des institutions technologiques (étrangères)</p> <p>Licences pour de nouvelles technologies et de nouveaux logiciels</p> <p>Alliances et réseaux à l'étranger</p> <p>Processus formel de recrutement du personnel</p> <p>Formalisation de la formation, du recyclage et de la requalification</p> <p>Compétences en ingénierie logicielle, automatisation et technologies de l'information et des communications</p>	<p>Ingénierie des processus de routine</p> <p>Maintenance préventive</p> <p>Adaptation/amélioration de la technologie de production acquise à l'extérieur</p> <p>Introduction de techniques développées à l'extérieur</p> <p>Remodularisation et extension du processus</p> <p>Réorganisation des effectifs</p> <p>Rétro-ingénierie (produit)</p> <p>Amélioration de la conception des produits</p> <p>Gestion du cycle de vie des produits</p> <p>Certification de la qualité</p> <p>Analyse de la productivité</p> <p>Audit</p> <p>Contrôle des stocks</p> <p>Département marketing spécialisé</p> <p>Gestion de base de la marque</p> <p>Gestion de la chaîne d'approvisionnement/logistique</p> <p>Analyse systématique des marchés étrangers</p>

interdépendantes de capacités. Le développement de ces capacités est lié à l'existence d'un écosystème industriel où les entreprises industrielles peuvent fonctionner et apprendre.

Chaque entreprise dispose d'un « ensemble unique de compétences »

Les entreprises étant chacune confrontées à des défis d'apprentissage différents, leurs rythmes de développement de nouvelles capacités ont peu de chance d'être identiques (Andreoni et Anzolin, 2019). Dans les pays en développement en particulier, cette disparité renforce l'hétérogénéité

des entreprises, un nombre important d'acteurs peu qualifiés et peu performants coexistant avec d'autres plus avancés. Ce fossé entre les entreprises les plus avancées et les autres a été appelé « fracture numérique ».

La fracture numérique peut nuire aux entreprises aussi bien avancées qu'à faible capacité

La conséquence directe de cette fracture est la création des îlots de quatrième révolution industrielle observés dans la figure 6 – quelques grandes entreprises chefs de

« La fracture numérique transforme une occasion de modernisation technologique en un goulet d'étranglement de l'industrialisation numérique

Tableau 2 (suite)

Accumuler les capacités d'investissement, technologiques et de production en vue d'une production numérique avancée

	Investissement	Technologie	Production	
AVANCÉ	Innovant, risqué, basé sur des formes avancées de collaboration et de R&D	<ul style="list-style-type: none"> Capacités de gestion de projet de classe internationale Gestion des risques Conception de l'équipement 	<ul style="list-style-type: none"> Recherche dans le domaine des processus et des produits, R&D Système formel de formation Liaisons continues avec les institutions de R&D et les universités, R&D coopératifs Liaisons innovantes avec d'autres entreprises et acteurs du marché Octroi à d'autres de licences pour sa propre technologie Écosystème d'innovation ouverte 	<ul style="list-style-type: none"> Ingénierie des processus Amélioration continue des processus Innovation dans de nouveaux processus Innovation dans de nouveaux produits Maîtrise de la conception des produits Capacité organisationnelle avancée d'innovation Ingénierie industrielle, chaîne d'approvisionnement et logistique de classe internationale Gestion des stocks Création de marques et consolidation de la marque Système de distribution avancé et coordination avec les détaillants/acheteurs Propres canaux de commercialisation et filiales à l'étranger Acquisitions étrangères et investissement direct étranger
	Capacités d'intégration de systèmes de production	<ul style="list-style-type: none"> Adoption de solutions d'intégration technologique Adoption de solutions d'intégration organisationnelle Analyse de données pour la prise de décision et la gestion des risques 	<ul style="list-style-type: none"> R&D pour les produits et processus intégrés Développement de compétences numériques avancées Développement d'une plateforme logicielle interne/proprie 	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance prédictive et en temps réel Systèmes physiques cybernétiques pour la conception virtuelle de produits/processus Intégration technologique et organisationnelle Production agile et intelligente Contrôle numérique et automatisé des stocks Données en temps réel sur la production et la chaîne d'approvisionnement Systèmes d'information complètement intégrés dans toutes les fonctions (par exemple, planification des ressources d'entreprise) Analyse des données massives à tous les stades de la production (conception du produit, production, commercialisation, logistique, etc.)
SYSTÉMIQUE				
	Renforcement des capacités institutionnelles et d'infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> Approvisionnement énergétique fiable Connectivité fiable Infrastructure de connectivité à bande passante (Ethernet et sans fil) Infrastructure des institutions de technologie numérique Politique de propriété des données et accessibilité des licences logicielles 		

Source : Élaboré par l'ONUDI sur la base d'ONUDI (2002) et d'Andreoni et Anzolin (2019).

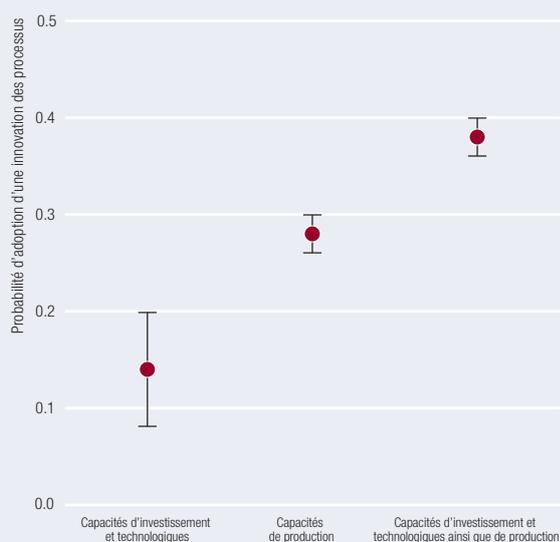
file mettant en œuvre des technologies de PNA fonctionnent comme des îlots dans une mer d'entreprises sans capacités, utilisant encore des technologies dépassées. Ces entreprises chefs de file peuvent être pénalisées par cette fracture, dans la mesure où elles ont du mal à établir des liaisons en amont et à alimenter leurs chaînes logistiques. Ainsi, la fracture numérique transforme une occasion de modernisation technologique en un goulet d'étranglement de l'industrialisation numérique.

L'engagement dans la production industrielle est essentiel pour combler l'écart

Les débats sur les politiques ont eu tendance à se concentrer principalement sur les capacités d'investissement et technologiques. Le RDI 2020 montre que les capacités de production ont également une importance capitale. Une analyse des déterminants de l'adoption de nouvelles technologies montre que les capacités de production sont les plus importantes (figure 9). Elles ne peuvent être acquises que grâce à une expérience effective de la production industrielle.

« La participation aux chaînes de valeur mondiales a une incidence positive sur la probabilité d'adopter de nouvelles technologies »

Figure 9
Les capacités de production sont essentielles à l'adoption d'une innovation technologique des processus



Note : L'analyse porte sur 13 économies africaines (Ghana, Kenya, Malawi, Namibie, Nigeria, Ouganda, République démocratique du Congo, République unie de Tanzanie, Rwanda, Soudan, Soudan du Sud, Zambie et Zimbabwe) et quatre économies d'Asie du Sud (Bangladesh, Inde, Népal et Pakistan). Seules les entreprises manufacturières sont considérées. Le diagramme montre les coefficients et les intervalles de confiance (à 95 %) pour les effets marginaux moyens des variables d'intérêt sur la probabilité d'adopter une innovation du processus. Un modèle de probabilité linéaire a été mis en œuvre, avec des écarts types rééchantillonnés (bootstrapped). Des variables nominales sont utilisées pour les pays et les secteurs.
Source : Élaboré par l'ONUDI sur la base de Bogliacino et Codagnone (2019) d'après l'Enquête de la Banque mondiale auprès des entreprises (Innovation Follow-up, 2013-2014).

Ensemble, la technologie et les capacités de production mènent à l'innovation

Les capacités d'investissement et technologiques révèlent pleinement leur importance lorsqu'elles sont combinées à des variables de capacité de production. Les capacités de production sont plus importantes pour expliquer l'adoption de la technologie. Cela ne signifie toutefois pas que les variables relatives à l'investissement et à la technologie n'ont pas d'importance. Combinées, les capacités d'investissement et de technologie ainsi que de production produisent des taux d'adoption des nouvelles technologies de processus plus élevés que lorsqu'une seule des deux catégories de capacités est considérée.

La participation des entreprises à des chaînes de valeur mondiales est associée à l'utilisation des technologies de PNA

Pour les entreprises manufacturières des pays en développement et des économies industrielles émergentes, l'apprentissage des technologies de PNA peut également dépendre de leur intégration dans le commerce international

et les réseaux de production. Les réseaux internationaux de commerce et de production peuvent constituer des canaux viables pour le transfert de connaissances aux fournisseurs situés en aval dans une chaîne de valeur mondiale (CVM). Les données recueillies dans les pays étudiés aux fins du présent rapport confirment que la participation aux chaînes de valeur mondiales a une incidence positive sur la probabilité d'adopter de nouvelles technologies.³ Cette corrélation positive reste valable lorsqu'on tient compte d'autres facteurs susceptibles de façonner l'adoption de nouvelles technologies de production, tels que la taille, le secteur, le capital humain et les investissements dans la R&D et les machines. L'intégration dans les CVM manufacturières peut représenter une occasion importante pour les pays à la traîne d'entrer dans la course technologique en cours.

L'adoption exige également que la main-d'œuvre dispose de compétences spécifiques

Les technologies de PNA requièrent des « compétences d'avenir »

L'évolution technologique n'est pas neutre lorsqu'il s'agit des compétences exigées. L'adoption des technologies de PNA nécessite le développement de compétences complémentaires aux nouvelles technologies (Rodrik, 2018). Trois groupes de compétences (« compétences d'avenir ») sont particulièrement importants pour les technologies de PNA : les compétences analytiques, les compétences spécifiques liées à la technologie – y compris les compétences en sciences, technologie, ingénierie et mathématiques (STIM) et en TIC – et les compétences générales. Les emplois créés par les nouvelles technologies étant susceptibles d'exiger davantage de compétences nouvelles et techniques et d'aptitudes analytiques et cognitives, les compétences d'avenir constitueront la meilleure protection contre le risque de déplacement par la technologie.

Les entreprises à plus haute intensité technologique comptent davantage de professionnels des STIM

La demande accrue de ces compétences se reflète déjà dans le profil d'emploi des entreprises à plus haute intensité technologique. La part des employés STIM est constamment plus élevée dans les entreprises plus dynamiques sur le plan technologique, qui adoptent ou sont prêtes à adopter les technologies de PNA. De plus, ces entreprises reconnaissent également l'importance croissante des compétences liées à la technologie, telles que celles relatives aux

« Les technologies de PNA peuvent accroître les profits et l'utilisation du capital des entreprises et améliorer la durabilité environnementale

interactions homme-machine. Les compétences générales devraient gagner en importance à l'avenir. La raison peut en être que nombre de nouvelles technologies requièrent que les employés travaillent au sein d'équipes bien intégrées et apprennent rapidement les procédures et les systèmes.

Quels dividendes les technologies de PNA peuvent-elles procurer ?

Les technologies de PNA peuvent améliorer les profits, protéger l'environnement, et accroître la main-d'œuvre

Les technologies de PNA peuvent accroître les profits et l'utilisation du capital des entreprises, mieux intégrer la main-d'œuvre dans la production, et améliorer la durabilité environnementale. La figure 10 résume les principaux mécanismes en jeu, en suivant le cadre conceptuel présenté au début de la vue d'ensemble. Les avantages potentiels que les technologies de PNA peuvent apporter à l'appui du DIID sont présentés selon deux grands axes : l'introduction sur le marché de produits nouveaux et de meilleure qualité – téléviseurs intelligents, montres intelligentes, appareils de contrôle du domicile, etc. – et l'amélioration de l'efficacité de

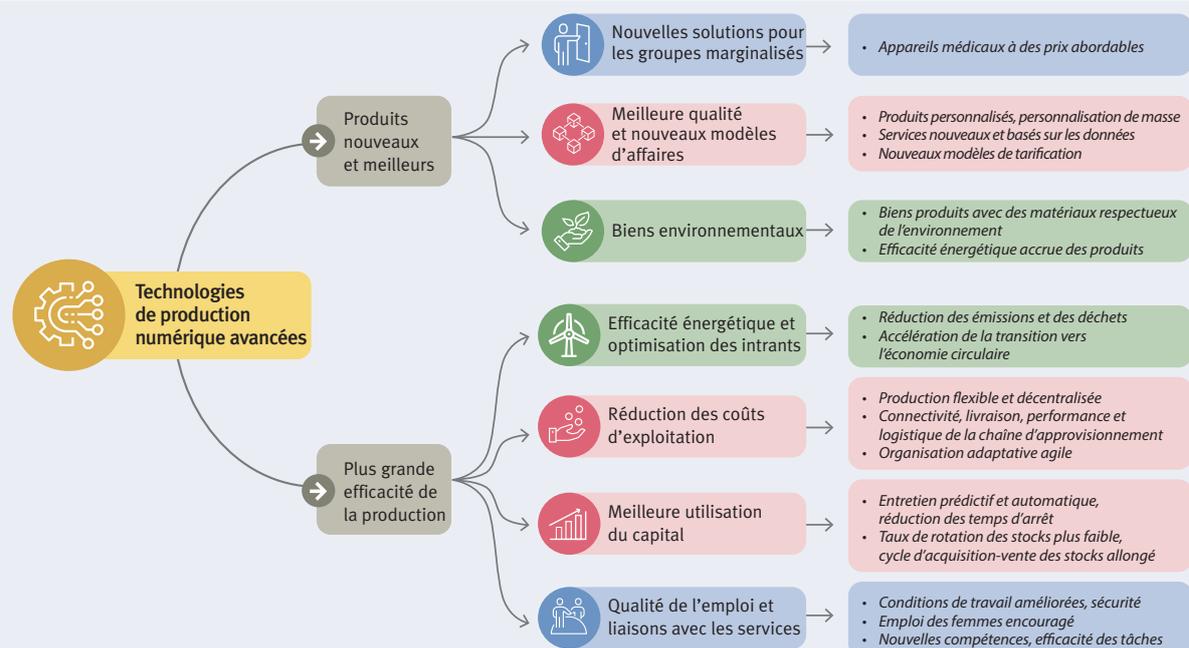
la production grâce à la numérisation et à l'interconnectivité des processus de production. Chacun de ces grands canaux affecte directement les principales dimensions du DIID : compétitivité industrielle, durabilité environnementale et inclusion sociale. Les avantages comportent également des risques, et rien ne garantit qu'ils pourront être obtenus sans d'autres changements. La concrétisation des avantages dépend des conditions propres aux pays, aux industries et aux entreprises impliquées dans la production manufacturière.

L'analyse étendue des données améliore les produits et les services

Les technologies de PNA peuvent améliorer les caractéristiques et les fonctionnalités des produits et services, ce qui se traduirait par une augmentation des revenus d'exploitation, y compris l'innovation, la personnalisation et le délai de mise sur le marché des produits, et par une gamme de produits et services plus concurrentiels. L'analyse de données, par exemple, permet de profiter de la collecte et de l'analyse des données des clients en temps réel, de rendre possible une implication directe des demandes des clients et de faciliter une personnalisation de masse rentable des produits. Ces informations sur le comportement des clients peuvent avoir d'énormes avantages

Figure 10

Dividendes attendus des technologies de PNA



Source : Élaboré par l'ONUDI sur la base d'Andreoni et Anzolin (2019).

« La croissance des économies activement engagées dans les technologies de PNA est nettement plus rapide que celle des autres

pour les nouveaux produits, services et solutions. Les changements ouvrent de nouvelles possibilités de modèles organisationnels et d'affaires en associant des services à la production manufacturière. Ainsi, les technologies de PNA offrent l'occasion de revitaliser l'industrialisation et de dynamiser la croissance économique en créant de nouveaux biens et en combinant les activités manufacturières et de services.

Encourager la productivité

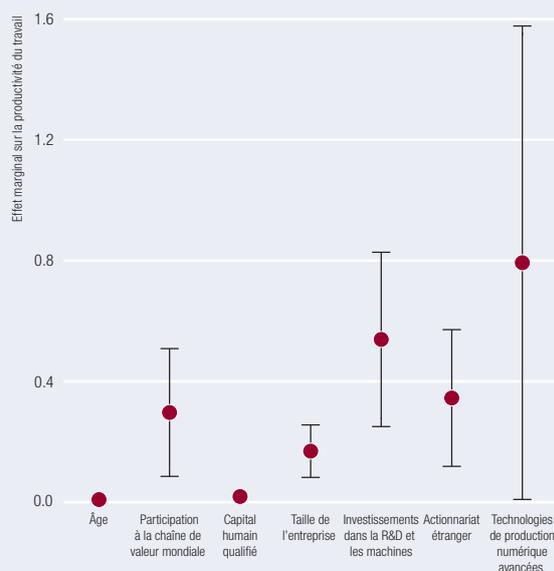
Les entreprises adoptant des technologies avancées ont une productivité plus élevée

Les entreprises adoptent les technologies de PNA pour devenir plus compétitives et efficaces. Une analyse économétrique, conditionnée par d'autres facteurs susceptibles d'affecter la productivité des pays étudiés en vue du rapport, a examiné si les entreprises ayant un niveau plus élevé de numérisation étaient, en moyenne, plus productives que celles ayant des niveaux plus bas (figure 11). Même en tenant compte de l'âge des entreprises, de leurs investissements dans la R&D et dans les machines, de leur capital humain et de leur participation à la chaîne de valeur mondiale (CVM), l'adoption de la technologie de PNA était positivement et significativement associée à la productivité des entreprises. Le coefficient d'adoption d'une technologie est élevé comparativement à ceux d'autres facteurs significatifs importants.

Les pionniers et les suiveurs sont en tête en ce qui concerne la croissance de la VAM résultant de l'amélioration de la productivité

Ce qui est vrai pour les entreprises l'est également pour les pays : la croissance de la valeur ajoutée manufacturière (VAM) des économies activement engagées dans les technologies de PNA – pionnières et suiveuses – est nettement plus rapide que celle des autres – retardataires et à la traîne (figure 12). Dans les économies à faible revenu, à revenu intermédiaire de la tranche inférieure, et à revenu élevé, le taux de croissance des pionnières et suiveuses atteint presque le double de celui des retardataires et économies à la traîne. Dans les économies à revenu intermédiaire de la tranche supérieure, la différence dépasse 50 %. Une croissance plus rapide de la VAM peut s'expliquer par une création d'emplois plus dynamique, des gains de productivité plus rapides, ou les deux. Les plus fortes différences sont observées dans la dynamique de la productivité. Les pionnières et suiveuses sont clairement en tête en ce qui concerne la croissance de la productivité. Il est intéressant de noter que dans les pays en développement – pays à faible

Figure 11
L'adoption de technologies de PNA est positivement associée à la productivité



Note : Le diagramme représente les coefficients et les intervalles de confiance (à 90 %) des variables d'intérêt sur la productivité du travail, obtenus à l'aide d'une analyse de régression pour les entreprises interrogées au Ghana, en Thaïlande et au Viet Nam. La variable « technologies de production numérique avancées » est une variable binaire prenant la valeur 1 si l'entreprise utilise les technologies des générations 3.0 ou 4.0, ou 0 dans le cas contraire. Des variables nominales sont utilisées pour le pays et le secteur.

Source : Elaboré par l'ONUDI sur base de Pietrobelli et coll. (2019) exploitant les données recueillies par l'enquête auprès des entreprises de l'ONUDI « Adoption des technologies de production numérique par les entreprises industrielles ».

revenu, à revenu intermédiaire de la tranche inférieure et à revenu intermédiaire de la tranche supérieure – les pionnières et suiveuses affichent également une croissance positive de l'emploi durant cette période. Dans les économies à revenu élevé, au contraire, la croissance de la productivité a plus que compensé la destruction nette d'emplois directs.

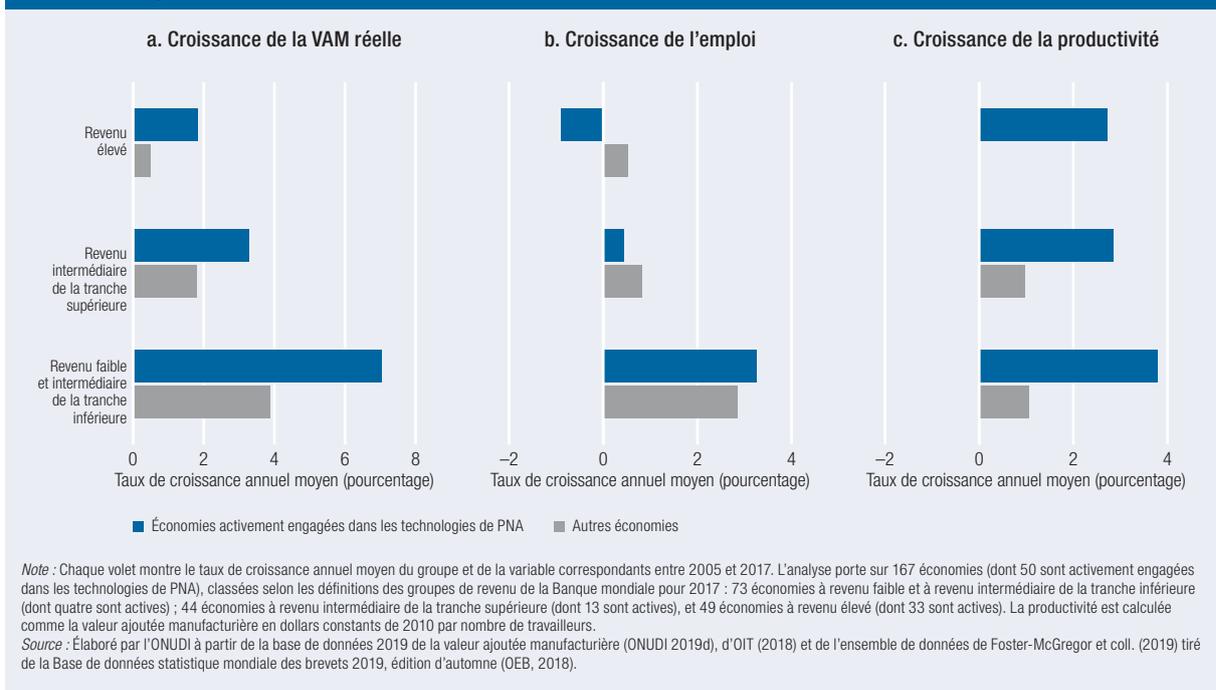
Renforcement des liaisons intersectorielles

Les nouvelles technologies favorisent les services des entreprises à forte intensité de connaissances

L'adoption des technologies de PNA dans la production manufacturière nécessite un soutien supplémentaire de la part d'autres secteurs de l'économie, notamment des services à forte intensité de connaissances qui fournissent les solutions informatiques et numériques requises pour mettre en œuvre une production intelligente. Cette interaction plus forte avec les services peut accroître les effets multiplicateurs de la production manufacturière sur la création d'emplois et la réduction de la pauvreté et ouvrir aux pays de nouvelles possibilités d'entrer dans le système manufacturier.

« À mesure que les pays déploient les technologies de PNA, les services aux entreprises à forte intensité de connaissances jouent un rôle croissant

Figure 12
Les économies actives dans les technologies de PNA croissent plus rapidement que les autres, toutes catégories de revenu confondues



Ces services produisent de l'innovation et transmettent de nouvelles connaissances

Les services aux entreprises à forte intensité de connaissances (SEFIC) jouent un rôle important en tant que producteurs d'innovation et porteurs de nouvelles connaissances dans une économie. Il s'agit principalement de services intermédiaires (vendus à d'autres secteurs plutôt qu'aux consommateurs finaux et, grâce à ces liaisons, ils diffusent les innovations le long de la chaîne de valeur.

Les pionniers et les suiveurs ont tendance à s'appuyer davantage sur les SEFIC pour la production de biens industriels

Plus le revenu du groupe de pays est élevé, plus la part des SEFIC dans la valeur ajoutée générée par l'industrie manufacturière est conséquente, indiquant l'importance des intrants à forte intensité de connaissances pour les types d'activités manufacturières entreprises par les pays à revenu élevé. Les SEFIC ne sont pas simplement liés aux niveaux de revenu des pays. Quel que soit le groupe de revenu, l'intégration des SEFIC est également plus importante dans les économies activement engagées dans les technologies de PNA (figure 13). À mesure que les pays s'engagent dans le développement et le déploiement des technologies de PNA, les SEFIC doivent jouer un rôle croissant dans la fabrication.

Créer des emplois, pas les détruire

Les effets indirects et nets doivent être considérés en plus des effets directs (travailleurs déplacés)

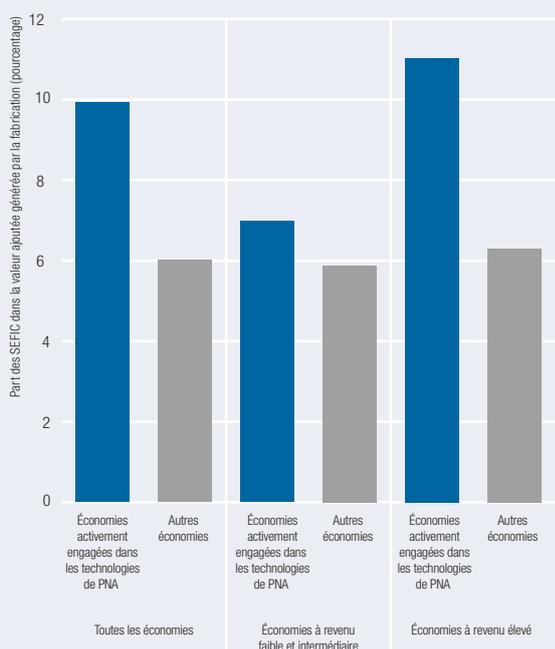
Des inquiétudes ont été émises à propos des effets potentiels que les technologies de PNA peuvent avoir sur le marché de l'emploi. Lorsqu'on évalue l'effet final sur l'emploi d'une nouvelle technologie (telle que les robots), tous les aspects doivent être pris en compte. Il est difficile d'évaluer l'impact d'une technologie sur l'emploi dans l'ensemble de l'économie si l'on reste concentré sur un secteur ou une industrie. Les effets macroéconomiques directs et indirects des nouvelles technologies sur l'emploi doivent donc être analysés. Les effets indirects sont fondés sur les liaisons tant nationales qu'internationales obtenues à partir des tableaux d'entrées-sorties entre pays.⁴

Les effets indirects peuvent l'emporter sur les effets directs

Pour évaluer l'impact des technologies de PNA sur l'emploi, le RDI 2020 constate que l'accroissement du stock de robots dans une industrie donnée y a, bien entendu, un effet direct sur l'emploi, mais a également des effets indirects sur le reste de la chaîne de valeur (figure 14). L'augmentation de l'utilisation des robots dans une industrie a des effets indirects sur l'emploi

L'accroissement du stock de robots dans une industrie a des effets indirects sur le reste de la chaîne de valeur

Figure 13
Dans les économies activement engagées dans les technologies de PNA, les industries manufacturières sont plus intégrées avec les services aux entreprises à forte intensité de connaissances, quel que soit le groupe de revenu



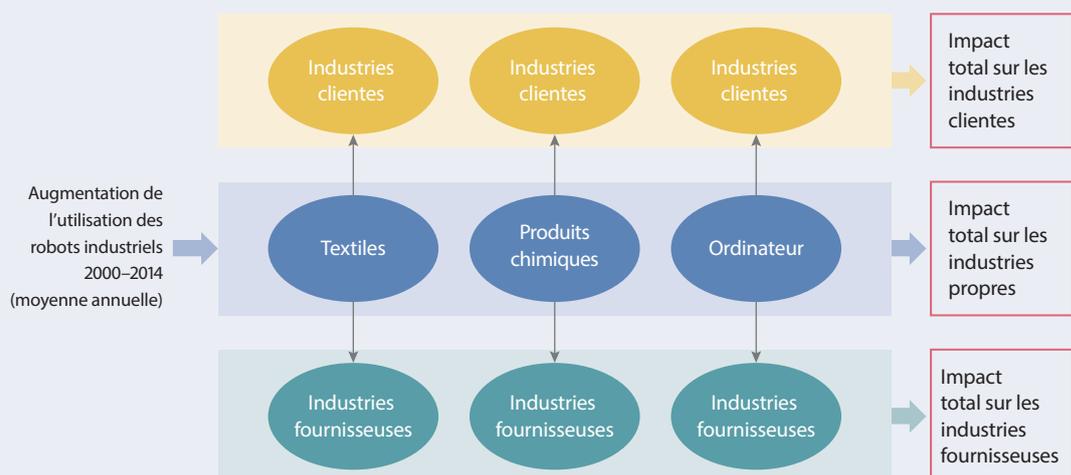
Note : Valeurs moyennes pour la période 2005-2015. La valeur ajoutée manufacturière est en dollars courants. L'analyse porte sur 63 économies classées selon les définitions des groupes de revenu de la Banque mondiale pour 2005 : 30 économies à revenu faible et intermédiaire (dont neuf sont actives) et 33 économies à revenu élevé (dont 24 sont actives). SEFIC = services aux entreprises à forte intensité de connaissances.
 Source : Elaboré par l'ONUDI sur base des tableaux d'entrées-sorties entre pays (ESEP) (OCDE, 2018).

dans les industries des clients et des fournisseurs. Par exemple, une industrie utilisant plus de robots peut fabriquer des produits intermédiaires de meilleure qualité, vendre à des prix plus avantageux ou les deux pour ses industries clientes, qui, à leur tour, peuvent accroître ainsi leur compétitivité et engager plus de travailleurs pour développer leurs activités. Cette augmentation de l'utilisation des robots peut également avoir un impact indirect sur les industries des fournisseurs, dans la mesure où une plus forte automatisation et des changements dans les processus de production peuvent engendrer une demande accrue de certains matériaux et composants. Un tel changement dans la demande émanant d'un secteur qui se robotise peut avoir une incidence positive ou négative sur l'emploi dans l'industrie de ses fournisseurs. En même temps, les clients et les fournisseurs peuvent être localisés dans la même économie (affectant ainsi l'emploi domestique) ou dans d'autres économies (affectant ainsi l'emploi étranger).

Entre 2000 et 2014, l'augmentation des robots industriels dans l'industrie manufacturière a entraîné une création nette d'emplois dans le monde

Une fois tous les effets pris en compte, la contribution de la croissance annuelle du stock de robots industriels à la croissance de l'emploi entre 2000 et 2014 est positive, quoique très faible. Les principaux effets positifs proviennent des liaisons avec les fournisseurs internationaux et de celles avec les clients nationaux. Les liaisons avec les fournisseurs nationaux,

Figure 14
Impact total sur l'emploi mondial de l'augmentation de l'utilisation des robots industriels dans les industries individuelles



Source : UNIDO elaboration.

« Les entreprises engagées dans les technologies de PNA s'attendent à augmenter (ou du moins à maintenir) le nombre de leurs employés

en revanche, affichent des effets négatifs sur l'emploi. Il est intéressant de noter que la plupart des emplois ont été créés dans les économies émergentes à la suite de l'augmentation du stock de robots dans les économies industrialisées.

Les entreprises utilisant des robots peuvent générer plus d'emplois que celles n'en utilisant pas

Ce point montre l'importance de la prise en compte de la possibilité de croissance de la production due à l'adoption des robots, en plus de son effet sur le changement dans le processus de production (augmentation de l'intensité de capital), par rapport à la non-adoption. Si une utilisation accrue des robots facilite la gestion de la production et augmente la part du revenu du capital par rapport à celle de la main-d'œuvre, sans beaucoup contribuer à augmenter la compétitivité et la production de l'entreprise ou de l'industrie, son impact sera probablement négatif sur l'emploi. Par contre, si les entreprises et industries adoptant des robots enregistrent une croissance nettement plus rapide que celles qui n'en adoptent pas – en raison de l'augmentation des échelles de production, de la complémentarité intersectorielle, de la redistribution du travail au sein d'une chaîne de valeur, et de la relocalisation des travailleurs au sein d'une entreprise –, il est probable que les premières auront de meilleures chances de créer de nouveaux emplois que les secondes.

Les entreprises technologiquement dynamiques s'attendent à des emplois stables (voire plus nombreux)

Les conclusions concordent avec des études récentes utilisant des données à long terme relatives aux entreprises et aux travailleurs, qui montrent que (du moins dans les économies pionnières telles que l'Allemagne) l'adoption des robots n'a pas augmenté le risque de déplacement pour les travailleurs manufacturiers en place (Dauth et coll., 2018). Cela est également confirmé au niveau microéconomique dans les cinq pays étudiés dans le cadre du présent rapport : la majorité des entreprises engagées dans les technologies de PNA ou prêtes à le faire s'attendent à augmenter (ou du moins à maintenir) le nombre de leurs employés avec l'adoption de ces technologies.

Les nouvelles technologies peuvent également améliorer les conditions de travail et la participation des ouvriers

Les technologies de PNA affectent également la dimension sociale de la production manufacturière. Elles peuvent améliorer les conditions des travailleurs dans la production industrielle

en introduisant de nouveaux flux de travail et répartitions des tâches, ainsi qu'en élevant le seuil de compétence de la main-d'œuvre. Par exemple, dans le secteur de l'automobile, des solutions automatisées ont permis de réorganiser les tâches de production, et d'épargner aux travailleurs les plus physiquement exigeantes. Les technologies de PNA peuvent également améliorer les conditions de travail dans les usines de fabrication. Dans la pratique courante actuelle, les travailleurs gèrent des robots perfectionnés. La collaboration accrue entre les humains et les robots (ou cobots) créera une main-d'œuvre mixte. Les technologies de sécurité et de traçabilité augmentent également la sécurité et améliorent les conditions de travail en usine.

Préserver l'environnement

Les technologies de PNA recherchent des solutions respectueuses de l'environnement

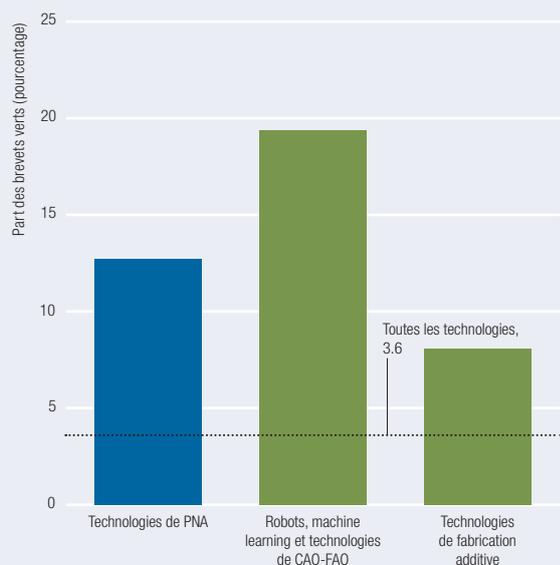
Les technologies de PNA ont un contenu écologique supérieur à la moyenne (figure 15). Tel est particulièrement le cas des technologies liées aux robots, à l'apprentissage machine, et aux systèmes de CAO-FAO et, dans une moindre mesure, des technologies de fabrication additive. La caractéristique la plus importante mise en évidence par les examinateurs des brevets de ces technologies est leur contribution potentielle à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit là d'un autre dividende important à prendre en compte, en particulier en ce qui concerne le cadre du DIID (voir figure 1).

Les technologies de PNA dynamisent les processus de l'économie circulaire

Les technologies de PNA devraient également stimuler les processus de l'économie circulaire, en dissociant l'utilisation des ressources naturelles et l'impact environnemental de la croissance économique. Cela soutient, à son tour, la réalisation de l'ODD 6 relatif à l'énergie, de l'ODD 12 visant la consommation et la production durables, et de l'ODD 13 concernant le changement climatique. Dans les processus de l'économie circulaire, les flux de ressources – en particulier de matériaux et d'énergie – sont réduits et, dans la mesure du possible, fermés. Les produits sont conçus pour être durables, réutilisables et recyclables, et les matériaux des nouveaux produits proviennent d'anciens produits. Les modèles d'économie circulaire réduisent également la sous-utilisation des produits et procurent des avantages en matière d'efficacité des ressources. Les

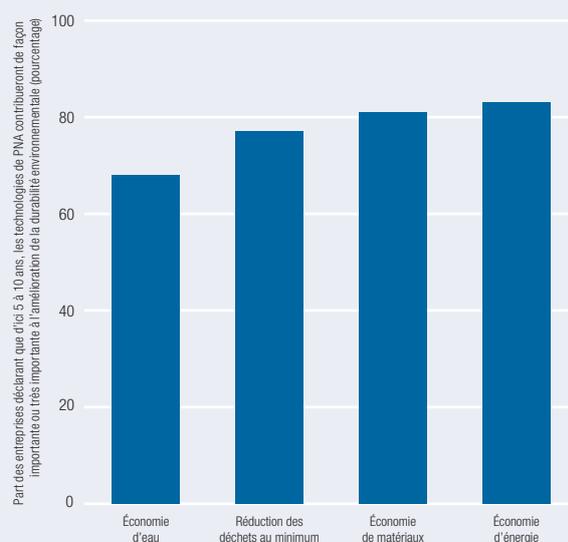
« L'utilisation des technologies de PNA peut entraîner des améliorations environnementales

Figure 15
Les technologies de PNA ont un contenu écologique supérieur à la moyenne



Note : Lorsqu'un examinateur de brevet considère qu'un brevet contribue à l'atténuation du changement climatique, il lui attribue un code spécial Y02. Celui-ci permet d'identifier au sein de tous les brevets le sous-groupe associé aux technologies vertes et de le comparer à la part correspondante de brevets verts dans l'ensemble des brevets déposés dans un quelconque domaine technologique (pas seulement les technologies de PNA) au cours des 20 dernières années. CAO-FAO = conception assistée par ordinateur et fabrication assistée par ordinateur. Source : Élaboré par l'ONUDI à partir de l'ensemble de données de Foster-McGregor et coll. (2019) tiré de la Base de données statistique mondiale des brevets 2018, édition d'automne (OEB, 2019).

Figure 16
La majorité des entreprises engagées dans des technologies de PNA ou prêtes à le faire conviennent que celles-ci entraîneront des améliorations environnementales



Note : Les données se rapportent aux entreprises interrogées au Ghana, en Thaïlande et au Viet Nam et ne comprennent que celles utilisant les technologies de PNA ou prêtes à les utiliser. Source : Élaboré par l'ONUDI sur la base des données recueillies par l'enquête auprès des entreprises de l'ONUDI « Adoption des technologies de production numérique par les entreprises industrielles » et de Kupfer et coll. (2019).

données provenant des appareils électroniques, des réseaux, et de l'équipement connecté à Internet peuvent fournir aux entreprises des indications sur la manière dont elles utilisent leurs ressources et dont elles peuvent améliorer la conception de leurs produits et services, la gestion du cycle de vie des produits, ou la planification de la chaîne logistique (Rizos et coll., 2018).

Les entreprises technologiquement dynamiques sont optimistes quant aux améliorations environnementales

Les données de niveau entreprise confirment cette tendance. Au Ghana, en Thaïlande et au Viet Nam, dans tous les domaines environnementaux – eau, énergie, matériaux et déchets – la majorité des entreprises déjà engagées dans des technologies de PNA ou prêtes à le faire conviennent que l'utilisation de ces technologies peut entraîner des améliorations environnementales (figure 16). Une utilisation efficace des matériaux est synonyme de durabilité, mais également d'économies qui peuvent entraîner de nouvelles dépenses et des effets multiplicateurs pour les entreprises et générer des effets de rebond accroissant l'activité économique et donc l'impact environnemental.

Les dividendes ne sont pas automatiques et comportent des risques

Les entreprises des pays en développement sont confrontées à une réorganisation et à une relocalisation de la chaîne d'approvisionnement

L'impact potentiel des technologies de PNA sur l'organisation de la production mondiale constitue un important sujet de préoccupation. Pour les entreprises des pays en développement, en particulier celles participant aux CVM, les menaces liées à la réorganisation de la chaîne d'approvisionnement, à la délocalisation de la production et à la relocalisation sont une crainte courante.

La numérisation pourrait accroître l'oligopole et la concentration du pouvoir

Les entreprises des pays en développement risquent d'être pénalisées par l'intégration progressive des technologies de PNA dans les CVM, dans la mesure où elles pourraient de plus en plus se heurter à des barrières à l'accès. Étant donné que l'intégration numérique accrue des systèmes à travers des plateformes logicielles affecte la structure des CVM, des inquiétudes

« Les technologies de PNA peuvent entraîner une relocalisation, même si la chose n'est pas fréquente

apparaissent à propos des mécanismes de coordination et de gouvernance au sein de chaînes d'approvisionnement entièrement numérisées, et d'un éventuel accroissement de la concentration du pouvoir et des marchés oligopolistiques et monopolistiques (Andreoni et Anzolin, 2019).

La relocalisation dans les pays avancés pourrait faire perdre son intérêt à la main-d'œuvre bon marché des pays en développement

Les entreprises des pays en développement risquent également d'être pénalisées par la diffusion progressive des technologies de PNA dans les économies avancées. L'adoption de ces technologies devrait réduire la pertinence de la main-d'œuvre bon marché en tant qu'avantage comparatif et augmenter la relocalisation vers les économies industrialisées, en retirant certaines activités de fabrication et en réduisant la création d'emplois (Rodrik, 2018). Des machines et robots nouveaux requérant peu de capital et capables de remplacer le travail manuel pourraient inciter les entreprises à faire revenir la production dans des pays à revenu élevé proches des grands marchés de consommation. Ce phénomène pourrait contrebalancer l'extension des CVM réalisée au cours des décennies précédentes en vue de décentraliser la production des pays à revenu élevé vers les pays à faible revenu offrant de bas salaires pour les activités nécessitant peu de qualifications, telles que l'assemblage.

Les données sur la relocalisation ne sont pas évidentes

Au-delà des hypothèses et des exemples anecdotiques, les preuves d'une relocalisation sont encore rares, de sorte qu'il est difficile de tirer des conclusions à propos de l'impact final sur l'emploi dans les pays en développement et de concevoir des politiques judicieuses à cet égard. Les travaux empiriques réalisés dans le cadre du présent rapport sur base des données de l'enquête européenne sur les industries manufacturières effectuée en 2015 auprès d'entreprises de huit pays européens (Allemagne, Autriche, Croatie, Espagne, Pays-Bas, Serbie, Slovaquie et Suisse) ont analysé l'ampleur et les déterminants de la relocalisation.⁵ Trois constatations claires se dégagent.

- Premièrement, la relocalisation n'est pas aussi répandue que le perçoivent les médias et le débat sur les politiques : 5,9 % des entreprises ont relocalisé, tandis que 16,9 % ont délocalisé.
- Deuxièmement, le coût de la main-d'œuvre n'est pas la principale raison pour laquelle les entreprises relocalisent à partir d'économies émergentes, mais il a son

importance lorsque la relocalisation s'effectue à partir d'autres pays à revenu élevé. La flexibilité de la logistique semble être la principale raison de la relocalisation à partir d'économies émergentes. Cette constatation est surprenante, car dans le débat actuel, la crainte d'un déplacement de l'emploi dû aux technologies avancées concerne l'introduction de machines ou de robots bon marché capables de remplacer la main-d'œuvre humaine en réduisant davantage les coûts de production.

- Troisièmement, la relocalisation est plus fréquente dans certains secteurs (industrie chimique, machines, industrie électrique ou matériel de transport – plutôt que les secteurs à faible technologie) et dans les entreprises adoptant davantage les technologies de PNA. Celles-ci peuvent donc entraîner une relocalisation, même si la chose n'est pas fréquente.

Les différences entre les sexes sont prononcées en ce qui concerne le risque d'informatisation des emplois

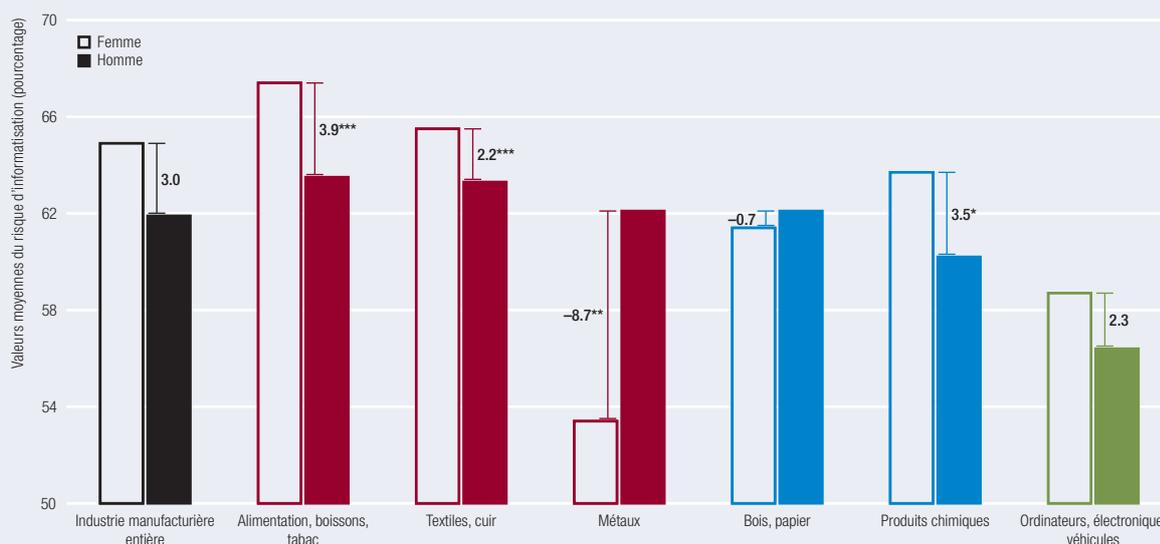
Les inégalités entre les sexes constituent un autre sujet de préoccupation. L'adoption généralisée des technologies de PNA pourrait creuser l'écart entre les hommes et les femmes sur les marchés du travail manufacturier, en particulier dans les pays en développement. Les travailleuses du secteur manufacturier sont confrontées, en moyenne, à un risque d'informatisation de leurs emplois supérieur d'environ 2,9 % à celui encouru par leurs collègues masculins (figure 17). Compte tenu du type d'emploi qu'elles exercent actuellement, les femmes courent un risque d'informatisation plus élevé que les hommes lorsqu'elles travaillent dans l'alimentation, les boissons et le tabac, le textile et le cuir, ou les produits chimiques. Il est intéressant de noter qu'aucune différence hommes-femmes statistiquement significative n'est observée pour le risque d'informatisation dans les secteurs des ordinateurs, de l'électronique et des véhicules.

Pourquoi les femmes courent-elles plus de risques de perdre leur emploi à cause de l'automatisation ?

Les différences de risque d'informatisation existant entre les sexes peuvent s'expliquer, entre autres, par des différences de compétences. Dans le secteur manufacturier, les femmes affichent en moyenne des scores nettement inférieurs à ceux des travailleurs masculins pour toutes les compétences particulièrement recherchées pour l'utilisation des technologies de PNA, qui constituent la vaste catégorie des « compétences

Figure 17

Les travailleuses courent un risque d'informatisation plus élevé que les hommes lorsqu'elles travaillent dans l'alimentation, le textile et les produits chimiques



Note : Le risque d'informatisation fait référence à la probabilité qu'une occupation soit informatisée dans un avenir proche. La figure montre les différences hommes-femmes dans les valeurs moyennes du risque d'informatisation par secteur. test des différences dans les moyennes : *** p < 0,000 ; ** p < 0,05 ; * p < 0,1. L'analyse porte sur l'Arménie, la Colombie, l'État plurinational de Bolivie, la Géorgie, le Ghana, le Kenya, la Macédoine du Nord, la République démocratique populaire lao, le Sri Lanka, l'Ukraine et le Viet Nam. Les couleurs des barres indiquent la classification des industries en fonction de leur intensité technologique et numérique. Vert = industries FITN (industries à forte intensité à la fois technologique et numérique). Bleu = industries à forte intensité soit technologique soit numérique, mais pas les deux. Rouge = industries dont ni l'intensité technologique ni l'intensité numérique ne sont fortes.
Source : Élaboré par l'ONUDI sur la base de l'ensemble de données de Sorgner (2019) tirées du programme STEP de mesure des compétences (Banque mondiale, 2016).

du futur ». Celles-ci sont censées fleurir dans la 4RI et protéger les travailleurs d'une numérisation destructive, dans la mesure où ils risquent moins d'être remplacés par les nouvelles technologies que d'être complétés par elles. Les écarts entre les sexes sont significativement négatifs pour toutes les « compétences du futur ». Un point plus positif pour les travailleuses est que les écarts entre les sexes sont moins prononcés en ce qui concerne les compétences relationnelles. Étant donné que des données empiriques récentes confirment que les compétences sociales sont de plus en plus importantes, un avantage au niveau de ces compétences peut contribuer à réduire les écarts entre les sexes dans l'avenir.

Accroître la participation équitable des femmes favorise un développement industriel inclusif et durable

L'ONUDI reconnaît l'importance d'un débat approfondi sur la relation entre le genre et les technologies de PNA dans le secteur manufacturier. Il est nécessaire d'accroître la participation équitable des femmes à la main-d'œuvre industrielle et au développement des technologies pour promouvoir un développement industriel inclusif et durable (ONUDI, 2019c).

Quelles réponses des politiques faut-il pour mettre les technologies de PNA au service du DIID ?

Ces réponses sont fortement liées au contexte

Les réactions stratégiques aux technologies de PNA varient tant au sein des pays qu'entre eux ; elles sont fortement liées au contexte et reflètent le degré d'industrialisation, la pénétration de l'infrastructure numérique, les capacités technologiques et productives accumulées, la tradition d'intervention des pouvoirs publics dans les questions économiques, ainsi que les priorités nationales et les capacités de mobilisation de partenariats public-privé. Il n'existe pas de solution universelle et il est toujours difficile d'identifier des modèles prêts à l'emploi. En règle générale, les réponses restent au stade de la tentative, avec divers degrés d'articulation dans les stratégies nationales de développement à long terme.

Et dépendent de la position relative des économies

Les réponses dépendent également de la position relative des économies : les pionniers, suiveurs et retardataires n'ont pas les

« L'adoption des technologies de PNA nécessite d'importants efforts d'élaboration des conditions-cadres

mêmes buts et sont confrontés à des problèmes différents. Les pionniers ont déjà passé le cap en ce qui concerne les technologies de PNA. Leurs réactions stratégiques visent le maintien ou le rétablissement de leur leadership industriel et combinent des objectifs économiques, sociaux et environnementaux. La principale aspiration des économies suiveuses est, quant à elle, de combler le fossé technologique avec les pionniers. Cela implique de favoriser un développement fondé sur l'innovation, en s'appuyant sur la base technologique et industrielle déjà en place. Nombre de ces économies hébergent des entreprises prêtes pour une fabrication avancée et sont même en concurrence dans des activités économiques traditionnellement réservées aux pays fortement industrialisés. L'un de leurs défis majeurs est de diffuser dans le reste de l'économie, les capacités déjà en place dans la partie la plus avancée du secteur manufacturier (Rodrik, 2018). Pour les économies retardataires et à la traîne, le plus important est de mettre en place les conditions de base de l'infrastructure et les capacités requises afin de se préparer à absorber les nouvelles technologies.

Certains domaines généraux d'action des politiques demandent une attention particulière

Même si les réponses sont hautement contextuelles, trois domaines sont particulièrement importants

L'amélioration de l'état de préparation à l'adoption et à l'exploitation des nouvelles technologies requiert une action sur trois fronts : la mise en place des conditions

générales ; l'encouragement de la demande et l'exploitation des initiatives en cours ; et le renforcement des compétences et des capacités de recherche (tableau 3).

Les conditions-cadres comprennent l'institutionnalisation d'approches à partenaires multiples pour la formulation des politiques industrielles

L'adoption des technologies de PNA nécessite d'importants efforts d'élaboration des conditions-cadres relatives à la réglementation et à l'infrastructure numérique, à l'environnement institutionnel de la formulation des politiques et des canaux de collaboration internationale et de transfert de technologie. L'environnement institutionnel est particulièrement important pour pouvoir mettre les technologies de PNA au service du DIID. Dans ce contexte, la formulation de la nouvelle politique industrielle doit résulter d'une étroite collaboration entre les secteurs privé et public, où l'apprentissage (identifier les contraintes), l'expérimentation (trouver des moyens de lever ces contraintes), la coordination (faire participer tous les acteurs concernés), et le suivi (évaluer les résultats) doivent être des principes directeurs clés (Rodrik, 2007, 2018).

L'encouragement de la demande nécessite une sensibilisation et un financement

Même si les conditions-cadres sont en place, les pays doivent encourager la demande et l'adoption de nouvelles technologies. Cela exige des efforts concentrés pour sensibiliser les entreprises

Tableau 3

Domaines d'action politique visant à mettre les technologies de PNA au service du DIID

Domaine	Question à traiter	Action à entreprendre	Exemples de pays
Développement des conditions-cadres	Réglementations et infrastructure numérique	<i>Mettre à jour et élaborer des réformes réglementaires pour faciliter une économie numérique</i>	<ul style="list-style-type: none"> En 2018, Maurice a lancé un cadre complet des politiques, Digital Mauritius 2030, en vue de stimuler le développement économique. Ses domaines spécifiques d'intervention comprennent la gouvernance des TIC, la gestion des talents, une stratégie nationale pour le haut débit et une meilleure protection des droits de propriété intellectuelle et des données, de la confidentialité des données et de la cybersécurité. Au cours des 15 dernières années, le Viet Nam a mis en œuvre une complexe réforme de la gouvernance afin de soutenir l'avènement de la fabrication intelligente. Cela comprend des politiques, des plans directeurs et des lois concernant le commerce électronique, les transactions électroniques, la cybersécurité, les technologies de l'information, la propriété intellectuelle, l'investissement dans l'infrastructure numérique, et l'introduction de technologies avancées dans la production et les affaires.
		<i>Investissements dans les infrastructures TIC et haut débit pour encourager l'accès à l'internet à haut débit</i>	<ul style="list-style-type: none"> En 2016, le Chili a annoncé le <i>Programa Estratégico Industrias Inteligentes 2015–2025</i> (le programme stratégique pour des industries intelligentes) afin de moderniser l'infrastructure TIC, accroître la vitesse du réseau national à large bande et augmenter la pénétration de l'internet à haut débit dans le pays. La stratégie nationale Thaïlande 4.0, contenue dans la Stratégie nationale pour 20 ans du pays (2017-2036), préconise des réformes institutionnelles pour améliorer les conditions-cadres, notamment des incitations (réductions de l'impôt sur les sociétés et subventions pour la R&D), des investissements dans les infrastructures internet à haut débit et la mise en place de parcs numériques et de zones de développement.

Les pays doivent encourager la demande et l'adoption de nouvelles technologies

Tableau 3 (suite)

Domaines d'action politique visant à mettre les technologies de PNA au service du DIID

Domaine	Question à traiter	Action à entreprendre	Exemples de pays
Développement des conditions-cadres	Infrastructure institutionnelle et rôle du secteur privé	<i>Institutionnaliser des approches à partenaires multiples et participatives pour la formulation de la politique industrielle, notamment un dialogue public-privé et un leadership partagé entre différents ministères</i>	<ul style="list-style-type: none"> Au Brésil, l'élaboration du <i>Science and Technology and Innovation Plan for Advanced Manufacturing</i> (le plan de science et technologie et d'innovation pour une fabrication avancée) a adopté une approche à trois acteurs (pouvoirs publics, entités privées, et organisations d'enseignement et de recherche). Le ministère des Sciences, de la Technologie, de l'Innovation et des Communications et le ministère de l'Industrie, du Commerce international et des Services en ont assuré la conduite du côté des pouvoirs publics. D'importantes connaissances ont été rassemblées par un groupe de travail, après consultation d'organisations privées sur leurs points de vue sur les défis et opportunités résultant de la fabrication intelligente dans différentes industries et régions du Brésil. Au Mexique, la feuille de route pour la stratégie nationale 2030 repose sur une collaboration entre le ministère de l'Économie, ProSoft 3.0 (un programme officiel de promotion de l'industrie nationale des logiciels), l'Association mexicaine des technologies de l'information, et d'autres organisations du secteur privé. En Afrique du Sud, le ministère des Télécommunications et des Services postaux, le ministère de la Science et de la Technologie, et le ministère du Commerce et de l'Industrie ont mené une stratégie intégrée, en consultation avec l'industrie, les travailleurs, et la société civile. En outre, une commission présidentielle sur la 4RI a été mise en place en 2019 pour coordonner les travaux entre toutes les institutions gouvernementales concernées.
	Collaboration internationale et transfert de technologie	<i>Faciliter les connexions avec les initiatives internationales relatives à l'adoption des technologies de PNA</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dans un protocole d'accord signé en 2015 entre <i>Made in China 2025 et Industrie 4.0</i>, la Chine et l'Allemagne ont convenu de promouvoir la préparation de leurs économies respectives aux technologies de PNA. Les activités proposées concernent la promotion de réseaux d'entreprises chinoises et allemandes dans le secteur de la fabrication intelligente. La collaboration porte déjà ses fruits puisqu'un parc industriel sino-allemand a été créé conjointement pour servir de plateforme reliant les entreprises chinoises et la technologie allemande. Au Mexique, le <i>Nuevo León</i> a signé en 2018 un protocole d'accord de deux ans avec le Pays basque espagnol, pour soutenir la collaboration entre leurs stratégies technologiques respectives de PNA. Les autorités du Nuevo León ont récemment lancé le programme MIND4.0 Monterrey 2019, un accélérateur de jeunes entreprises inspirées d'une initiative pilote similaire menée au Pays basque (BIND 4.0) associant des entreprises locales de fabrication à des innovateurs et entrepreneurs nationaux et étrangers.
		<i>Forger des partenariats avec des organisations étrangères et des sociétés multinationales ou des cabinets de consultants</i>	<ul style="list-style-type: none"> La nouvelle stratégie de numérisation du Kazakhstan, <i>Digital Kazakhstan</i>, a bénéficié de la collaboration entre l'institut allemand Fraunhofer et le ministère de l'Industrie et du Développement des infrastructures du Kazakhstan. Les activités comprenaient une étude diagnostique de l'état de préparation d'environ 600 entreprises nationales à l'adoption des technologies de PNA. Les entreprises dotées d'une production semi-automatisée bénéficieront d'un soutien pour se transformer progressivement en usines numériques. Des entreprises pilotes ont entamé la mise en œuvre en octobre 2018.
Promotion de la demande et de l'adoption	Accessibilité et abordabilité des technologies de PNA	<i>Développer des mécanismes de financement et des instruments de soutien innovants ou accroître le financement public en faveur des catalyseurs d'écosystèmes</i>	<ul style="list-style-type: none"> Pour financer des projets de haute technologie dans des domaines liés à la fabrication intelligente, les autorités de l'Afrique du Sud ont proposé un Fonds souverain d'innovation. Le gouvernement a promis un investissement initial de 1 à 1,5 milliard de rands (environ 111 millions de dollars) pour 2019/2020. Le fonds fait partie d'une stratégie visant à aider les entreprises nationales à bénéficier du transfert de technologie. En 2017, le gouvernement de la province du Zhejiang, en Chine, a lancé le Plan pour les entreprises déployant l'informatique dans le nuage (<i>Cloud</i>), une initiative visant à promouvoir l'adoption et l'innovation des technologies du nuage, en particulier parmi les petites et moyennes entreprises. L'initiative associe un financement à l'aide de bons pour réduire le coût de la technologie du nuage, avec une approche complexe de renforcement des capacités. Dans le cadre de ce programme, plus de 1 100 séminaires sur l'informatique dans le nuage ont été organisés, pour plus de 90 000 entreprises industrielles et 100 000 participants.

à l'utilisation et aux avantages potentiels de ces technologies, ainsi que pour faciliter un financement pour leur adoption. Un

soutien ciblé doit également être fourni aux acteurs (tels que les PME) encore à la traîne en matière de technologie.

« Les pouvoirs publics peuvent soutenir la création et le renforcement des capacités à l'aide de centres d'apprentissage spécialisés

Tableau 3 (suite)

Domaines d'action politique visant à mettre les technologies de PNA au service du DIID

Domaine	Question à traiter	Action à entreprendre	Exemples de pays
Promotion de la demande et de l'adoption	Sensibilisation à l'utilisation et aux avantages des technologies de PNA	<i>Développer des centres de sensibilisation et organiser des sommets, des conférences et des ateliers internationaux pour accroître les connaissances des entreprises sur les technologies de PNA</i>	<ul style="list-style-type: none"> En 2017, les autorités de l'Inde ont ouvert quatre nouveaux centres de promotion des technologies de PNA à Bangalore, New Delhi et Pune. Bien qu'indépendants, ces centres relèvent de la compétence du Département de l'industrie lourde du ministère de l'Industrie. Leur mandat est de soutenir la mise en œuvre de <i>Make-in-India</i> (Fabriquer en Inde), notamment en améliorant la compétitivité du secteur manufacturier grâce à une meilleure compréhension et à une plus large adoption des technologies de PNA par les PME manufacturières. Depuis 2015, le Gouvernement du Viet Nam organise des sommets annuels ou des rassemblements internationaux pour sensibiliser, explorer et éventuellement resserrer la collaboration public-privé ou pour démontrer les technologies et solutions disponibles aux agents nationaux intéressés par les technologies de PNA.
	État de préparation des acteurs vulnérables tels que les PME	<i>Fournir un soutien ciblé aux acteurs accusant un retard technologique</i>	<ul style="list-style-type: none"> En Espagne, les autorités du Pays basque ont lancé <i>Basque Industry 4.0</i>, qui comprend des activités pilotes visant à aider les PME nationales à avoir accès à une formation aux technologies de PNA associées à la fabrication, ainsi que des espaces conçus pour des autodiagnostic et des mises au point pour une fabrication avancée. En 2019, les autorités de la Malaisie ont lancé <i>Industry4WRD Readiness Assessment</i>, un programme relevant de la stratégie nationale <i>Industry4WRD</i>, qui aide à déterminer l'état de préparation des PME à l'adoption des technologies de PNA.
Renforcement des capacités	Développement des ressources humaines	<i>Renforcer la collaboration internationale autour du développement des compétences et de l'employabilité</i>	<ul style="list-style-type: none"> En Colombie, les universités de Valle del Cauca ont récemment accepté de collaborer avec l'Association des industries de l'électronique et des technologies de l'information (GAIA) du Pays basque. Les parties cherchent à promouvoir la culture numérique et l'esprit d'entreprise parmi les étudiants de Valle del Cauca.
		<i>Offrir/faciliter une expérience et une exposition directes aux nouvelles technologies ainsi que la possibilité d'en tirer des enseignements, notamment de nouvelles approches d'enseignement et de formation techniques et professionnels (EFTP)</i>	<ul style="list-style-type: none"> En collaboration avec l'ONUDI et la société allemande de contrôle et d'automatisation industrielle Festo, les autorités de l'Uruguay ont mis en place le <i>Centre of Industrial Automation and Mechatronics</i> (CAIME – le centre d'automatisation industrielle et de mécatronique), un centre public de technologie chargé d'améliorer les compétences techniques et d'encourager les entreprises nationales à adopter des processus de fabrication intelligents. En Malaisie, le ministère des Ressources humaines offre un système national de double formation, inspiré du programme allemand de double formation professionnelle, qui vise à doter les travailleurs des compétences nécessaires pour utiliser les technologies de PNA
	Développement des capacités de recherche	<i>Étendre la portée et le nombre des institutions de recherche</i>	<ul style="list-style-type: none"> Au Chili, l'Office de l'économie du futur a lancé le projet <i>Astrodata</i>, dont l'objectif est de capitaliser sur le potentiel de traitement des données astronomiques massives et de l'informatique dans le nuage, non seulement pour des applications scientifiques et le développement du capital humain, mais aussi à des fins économiques. Au Kazakhstan, le ministère de l'Éducation et des Sciences va mobiliser les capacités de recherche de l'Institut d'automatisation industrielle (basé à l'Université technique nationale de recherche du Kazakhstan) pour mener à bien la recherche appliquée et le transfert de technologie relatifs aux problèmes technologiques rencontrés par les entreprises cherchant à utiliser les technologies de PNA.

Source : Élaboré par l'ONUDI.

Les capacités s'appuient sur de nouvelles compétences et sur la recherche

En fin de compte, pour que les entreprises soient en mesure d'adopter les nouvelles technologies, elles doivent disposer des capacités requises en matière de compétences et de recherche. Les pouvoirs publics peuvent soutenir la création et le renforcement de ces capacités à l'aide de

centres d'apprentissage spécialisés et de nouvelles approches d'enseignement et formation techniques et professionnels, adaptées aux nouvelles exigences des entreprises. L'élargissement de la portée et du nombre des instituts de recherche abordant spécifiquement les technologies de PNA est également essentiel pour l'adoption de celles-ci et leur adaptation à l'environnement local.

« Sans le soutien de la communauté internationale, les pays à faible revenu risquent d'être encore davantage pris au piège

Appel à une collaboration internationale accrue

Les nouvelles possibilités dépendront des réactions individuelles et de l'état de préparation

À quel point les avancées en cours des technologies de PNA ouvrent-elles de nouvelles possibilités de progresser ou d'éviter de prendre encore plus de retard ? L'ampleur dépendra des réactions individuelles et de l'état de préparation soutenus par une politique industrielle active, de la culture numérique, des compétences et de l'éducation – et pas uniquement du niveau des salaires, des marchés intérieurs et des positions dans les chaînes de valeur mondiales (Lee et coll., 2019 ; Mayer, 2018).

Ne pas oublier que le développement des capacités requiert un engagement et des ressources considérables

Les responsables des politiques, en particulier des pays en développement, doivent garder à l'esprit qu'il faut un engagement et des ressources substantielles pour développer les capacités requises pour adopter les nouvelles technologies et assimiler les transformations de la production qu'elles entraînent (Lee, 2019 ; Steinmueller, 2001). Avant de s'engager dans une mise en œuvre complète, il est recommandé de procéder par étapes modestes, mais bien informées, afin d'évaluer les options technologiques et de politiques par rapport aux objectifs souhaités. Beaucoup reste à faire en matière de recherche et d'expérimentation des politiques afin d'apprendre et échanger les enseignements tirés grâce à une collaboration internationale accrue.

La communauté internationale doit soutenir les économies à la traîne

Les résultats présentés dans le rapport indiquent que de grandes parties du monde, principalement les pays les moins avancés (PMA) et d'autres économies à faible revenu, sont encore loin d'adopter les nouvelles technologies. Cette situation appelle une action immédiate de la communauté internationale pour soutenir les pays en développement – en particulier les PMA – dans l'adoption des avancées technologiques en cours. En l'absence d'appui international, les pays à faible revenu risquent d'être encore davantage pris au piège, à la traîne et incapables d'atteindre plusieurs (sinon tous les) objectifs de développement durable (ODD). Comme évoqué plus haut, ce soutien devrait être orienté vers le renforcement des capacités

industrielles et technologiques de base, intermédiaires et avancées, ainsi que de l'infrastructure numérique.

Les possibilités d'une collaboration internationale plus poussée sont bonnes

D'importants avantages peuvent découler d'une étroite collaboration entre les pays à différents stades de préparation à l'adoption des technologies de PNA. Le potentiel d'expansion d'une telle collaboration est important. Dans de nombreuses stratégies nationales des économies suiveuses, certaines économies pionnières sont considérées comme des partenaires privilégiés pour faciliter le transfert de technologie, le développement des ressources humaines et la mise en œuvre conjointe de projets pilotes, mais aussi pour explorer des modèles commerciaux communs. Des partenariats peuvent également être conclus avec d'autres pays situés à des niveaux similaires d'adoption des technologies de PNA. Les transferts de connaissances peuvent ainsi davantage intervenir sur un pied d'égalité et se rapprocher des réalités communes. Pour les BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud), une telle collaboration motive déjà des activités de recherche conjointes et des agendas d'innovation portant sur les données massives, les TIC et d'autres technologies de PNA et leurs applications, ainsi que sur l'infrastructure et la connectivité des TIC (BRICS, Centre d'information, 2017).

Une collaboration plus étroite doit être la base des stratégies nationales

Une collaboration plus étroite doit être la base des stratégies visant les divergences de vues des pays en développement sur les défis que les technologies de PNA peuvent placer sur leur route vers un développement industriel inclusif et durable. Bon nombre de ces questions ne sont pas nouvelles, mais les problèmes deviennent plus pressants en raison de leurs implications éventuelles pour la fracture numérique. Le consensus sur les défis et opportunités reste encore largement hors de vue, et les politiques intérieures sont susceptibles de bloquer les grandes collaborations internationales. C'est pourquoi la coordination et la collaboration internationales en matière de politiques devraient continuer à renforcer les efforts pour progresser, en permettant aux organisations et pays de partager leurs connaissances et expériences sur la manière d'identifier et traiter les possibilités et défis découlant de la 4IR et pour veiller à ce que personne ne soit laissé à la traîne.

Notes

- 1 Dans ce rapport, les brevets mondiaux sont définis comme les brevets déposés simultanément dans au moins deux des bureaux de brevets suivants : l'Office européen des brevets, le Bureau américain des brevets et des marques de commerce (United States Patent and Trademark Office – USPTO), l'Office des brevets du Japon, et le Bureau national chinois de la propriété intellectuelle (China National Intellectual Property Administration Office).
- 2 Ces générations ont d'abord été proposées par IEL (2018), puis précisées par le document d'information de l'ONUDI de Kupfer et coll. (2019)
- 3 Pour des résultats complets, voir le document d'information de l'ONUDI rédigé par Pietrobelli et coll. (2019).
- 4 L'analyse est fondée sur le document d'information de l'ONUDI produit par Ghodsi et coll. (2019) et s'appuie sur les travaux empiriques existants sur la relation entre le changement technologique, l'emploi et la croissance industrielle menés par Abeliansky et Prettner (2017), Acemoglu et Restrepo (2018), et Graetz et Michaels (2018).
- 5 Pour les détails de l'analyse, voir le document d'information de l'ONUDI préparé par Dachs et Seric (2019).

Références

- Abeliansky, A. et K. Prettner, 2017. *Automation and Demographic Change*. Göttingen: Center for European, Governance and Economic Development Research (CEGE), Université de Göttingen.
- Acemoglu, D. et P. Restrepo, 2018. *Artificial Intelligence, Automation and Work*. Cambridge, MA : Massachusetts Institute of Technology. Department of Economics.
- Albrieu, R., J.C. Ferraz, M. Rapett, C. Brest Lopez, J. Nogueira de Paiva Britto, D. Kupfer et J. Torracca, 2019. *The Adoption of Digital Technologies in Developing Countries: Insights from Firm-level Surveys in Argentina and Brazil*. Document d'information élaboré pour le Rapport sur le développement industriel 2020. Vienne : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.
- Andreoni, A. et G. Anzolin, 2019. *A Revolution in the Making? Challenges and Opportunities of Digital Production Technologies for Developing Countries*. Document d'information élaboré pour le Rapport sur le développement industriel 2020. Vienne : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.
- Banque mondiale, 2014-2013. *World Bank Enterprise Survey*. Disponible sur : https://microdata.worldbank.org/index.php/catalog?sort_by=rank&sort_order=desc&sk=enterprise+survey [accédé le 11 août 2019].
- , 2016. *STEP Skills Measurement Program*. Washington, DC. <https://microdata.worldbank.org/index.php/catalog/step>.
- Bogliacino, F. et C. Codagnone, 2019. *Adoption of Industry 4.0 in Developing Countries: Learning from Process Innovation*. Document d'information élaboré pour le Rapport sur le développement industriel 2020. Vienne : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.
- BRICS, Centre d'information, 2017. *BRICS Leaders Xiamen Declaration*. Disponible sur : <http://www.brics.utoronto.ca/docs/170904-xiamen.html>.
- CESAP (Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique), 2018. *Frontier Technologies for Sustainable Development in Asia and the Pacific*. Bangkok.
- CNUCED (Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement), 2018. *Technology and Innovation Report 2018: Harnessing frontier technologies for sustainable development*. Genève.
- Cohen, M. D., R. Burkhart, G. Dosi, M. Egidi, L. Marengo, M. Warglien et S. Winter, 1996. Routines and Other Recurring Action Patterns of Organizations: Contemporary Research Issues. *Industrial and Corporate Change*, 5(3), pp. 653–698.
- Dachs, B. et A. Seric, 2019. *Industry 4.0 and Changing Topography of Global Value Chains*. Document d'information élaboré pour le Rapport sur le développement industriel 2020. Vienne : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.
- Dauth, W., S. Findeisen, J. Suedekum et N. Woessner, 2018. *Adjusting to Robots: Worker-Level Evidence*. Federal Reserve Bank of Minneapolis, Opportunity and Inclusive Growth Institute.
- Eurostat, 2018. *Enquête communautaire sur l'utilisation des TIC et du commerce électronique dans les entreprises 2018*. Disponible sur : <https://www.epo.org/searching-for-patents/business/patstat.html#tab-1> [accédé le 10 mai 2019].

- Foster-McGregor, N., Ö. Nomaler et B. Verspagen, 2019. *Measuring the Creation and Adoption of New Technologies Using Trade and Patent Data*. Document d'information élaboré pour le Rapport sur le développement industriel 2020. Vienne : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.
- Ghodsi, M., O. Reiter, R. Stehrer et R. Stöllinger, 2019. *Robotization, Employment, and Industrial Growth Intertwined Across Global Value Chains*. Document d'information élaboré pour le Rapport sur le développement industriel 2020. Vienne : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.
- Graetz, G. et G. Michaels, 2018. "Robots at Work." *The Review of Economics and Statistics*, 100(5), pp. 753–768.
- IEL (Euvaldo Lodi Institute), 2018. *Industria 2027 Final report: Building the Future of Brazilian Industry*. Rio de Janeiro.
- Kupfer, D., J. C. Ferraz et J. Torracca, 2019. *A Comparative Analysis on Digitalization in Industry in Selected Developing Countries: Firm Level Data on Industry 4.0*. Document d'information élaboré pour le Rapport sur le développement industriel 2020. Vienne : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.
- Lee, K., 2019. *Economics of Technological Leapfrogging*. Document d'information élaboré pour le Rapport sur le développement industriel 2020. Vienne : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.
- Lee, K., C.-Y. Wong, P. Intarakumnerd et C. Limapornvanich, 2019. Is the Fourth Industrial Revolution a Window of Opportunity for Upgrading or Reinforcing the Middle-Income Trap? Asian model of development in Southeast Asia. *Journal of Economic Policy Reform*, pp. 1–18.
- Mayer, J., 2018. *Digitalization and Industrialization: Friends or Foes?* ONUDI, Document de recherche no 25. Genève : Nations Unies.
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques), 2017. *La prochaine révolution de la production : Conséquences pour les pouvoirs publics et les entreprises*. Publications OCDE.
- , 2018. *Inter-Country Input-Output (ICIO) Tables, NA08, ISIC REV.4, Édition 2018*. Disponible sur : <http://oe.cd/icio> [accédé le 4 mai 2019].
- OEB (Office européen des brevets), 2018. *Base de données statistique mondiale des brevets 2018, édition d'automne*. Disponible sur : <https://www.epo.org/searching-for-patents/business/patstat.html#tab-1> [accédé le 17 juin 2019].
- OIT (Organisation internationale du travail), 2018. *Perspectives pour l'emploi et le social dans le monde – Tendances 2019*. Genève.
- ONUDI (Organisation des Nations Unies pour le développement industriel), 2002. *Industrial Development Report 2002/3: Competing through innovation and learning*. Vienne.
- , 2017. *Industry 4.0 – The Opportunities behind the Challenge*. Vienne.
- , 2019a. *Annual Report 2018*. Vienne.
- , 2019b. *Competitive Industrial Performance Index, Edition 2019*. Ensemble de données. Disponible sur : <https://stat.unido.org/> [Accédé le 17 Juin 2019].
- , 2019c. *Inclusive and Sustainable Industrial Development: The Gender Dimension*. Vienne.
- , 2019d. *Manufacturing Value Added. Ensemble de données*. Disponible sur : <https://stat.unido.org/> [accédé le 17 juin 2019].
- Pietrobelli, C., M. Delera, E. Calza et A. Lavopa, 2019. *Does Value Chain Participation Facilitate the Adoption of Digital Technologies in Developing Countries?* Document d'information élaboré pour le Rapport sur le développement industriel 2020. Vienne : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.
- Rizos, V., A. Behrens, E. Drabik, D. Rinaldi et K. Tuokko, 2018. *The Role of Business in the Circular Economy: Markets, Processes and Enabling Policies. Report of a CEPS Task Force*. Bruxelles : Centre for European Policy Studies.
- Rodrik, D., 2007. *Industrial Policy for the 21st Century*. In *One Economics, Many Recipes*. Princeton, NJ : Princeton University Press.
- Rodrik, D., 2018. *New Technologies, Global Value Chains, and Developing Economies*. NBER Working Paper No. 25164.
- Schwab, K., 2016. *The Fourth Industrial Revolution*. Genève : Forum économique mondial.
- Sorgner, A., 2019. *The Impacts Of New Digital Technologies On Gender Equality In Developing Countries*. Document d'information élaboré pour le Rapport sur le développement industriel 2020. Vienne : Organisation des Nations Unies pour le développement industriel
- Steinmueller, E., 2001. ICTs and the Possibilities for Leapfrogging by Developing Countries. *International Labour Review*, 140(2), pp. 193–210.

Annexe

Tableau A.1

Pays et économies par niveau d'engagement dans les technologies de PNA

Pionnières (10 économies)	Suiveuses (40 économies)		Retardataires (29 économies)		À la traîne (88 économies)
	En matière de production (23 économies)	En matière d'utilisation (17 économies)	En matière de production (16 économies)	En matière d'utilisation (13 économies)	
<i>Économies activement engagées dans les technologies de PNA</i>					
Allemagne	Australie	Afrique du Sud	Bosnie Herzégovine	Costa Rica	Toutes les autres économies qui, d'après la Division des statistiques des Nations Unies avaient plus de 500 000 habitants en 2017
Chine	Autriche	Algérie	Bulgarie	Côte d'Ivoire	
Corée (Rép. de)	Belgique	Arabie saoudite	Chili	Équateur	
France	Bésil	Argentine	Émirats arabes unis	Égypte	
États-Unis	Canada	Bangladesh	Estonie	El Salvador	
Japon	Croatie	Biélorussie	Grèce	Éthiopie	
Pays-Bas	Danemark	Colombie	Kirghizistan	Malawi	
Royaume-Uni	Espagne	Hongrie	Lettonie	Ouganda	
Suisse	Fédération de Russie	Indonésie	Moldavie (Rép. de)	Ouzbékistan	
Taiwan, Province de Chine	Finlande	Iran (Rép. islamique d')	Nouvelle Zélande	Serbie	
	Hong Kong, RAS de la Chine	Malaisie	Nigéria	Tunisie	
	Inde	Mexico	Philippines	Turkménistan	
	Irlande	Portugal	Rép. dominicaine	Zambie	
	Israël	Roumanie	Slovénie		
	Italie	Thaïlande	Ukraine		
	Lituanie	Turquie	Venezuela (Rép. bolivarienne de)		
	Luxembourg	Viet Nam			
	Norvège				
	Pologne				
	Singapour				
	Slovaquie				
	Suède				
	Tchéquie				

Source : Élaboré par l'ONUDI sur la base de l'ensemble de données de Foster-McGregor et coll. (2019).

« Les nouvelles technologies sont une arme à double tranchant pour les pays en développement. Elles peuvent favoriser des avancées et accélérer le rattrapage économique. Toutefois, en l'absence de capacités, de compétences et d'institutions de base, elles constituent également un obstacle à la convergence des pays à la traîne. Ce rapport riche en données brosse un tableau à jour du paysage des technologies et présente des stratégies pour tirer le meilleur parti des opportunités tout en évitant les embûches. »

Dani Rodrik, Université d'Harvard

« À travers ce rapport, l'ONUDI rappelle au monde que l'industrialisation reste essentielle pour le développement économique. Elle soutient que grâce à une productivité accrue et au développement de nouveaux secteurs de production, les technologies numériques offrent de considérables opportunités d'amélioration du niveau de vie et de durabilité environnementale. Celles-ci s'accompagnent toutefois aussi d'importants défis liés à leur diffusion limitée dans la plupart des pays en développement. Le rapport appelle par conséquent à consentir des efforts importants pour développer l'infrastructure numérique, constituer les compétences humaines essentielles, et renforcer les capacités de recherche des pays en développement, autant de domaines où une coopération internationale accrue est également nécessaire. »

José Antonio Ocampo, Banque centrale de Colombie et Université de Colombie

