

C

Aspects économiques de l'impact des technologies numériques sur le commerce

La présente section examine comment les nouvelles technologies transforment le commerce international, créant de nouvelles possibilités d'établir un système commercial plus inclusif et soulevant de nouveaux défis. Elle analyse d'abord l'influence des technologies numériques sur les coûts du commerce international. Puis elle examine comment ces technologies modifient ce qui est échangé, par qui et comment. Enfin, l'impact potentiel des grandes tendances de l'évolution technologique est quantifié, et des projections à long terme concernant le commerce international sont faites au moyen du Modèle du commerce mondial de l'OMC.



Sommaire

1. Réduction des coûts du commerce : possibilités et défis	68
2. Évolution de la structure des échanges	86
3. Analyse quantitative de l'impact des nouvelles technologies sur le commerce	120
4. Conclusions	127
Appendice C.1 : Décomposition des coûts du commerce	129
Appendice C.2 : Protection de la propriété intellectuelle (PI) et avantage comparatif dans les secteurs à forte intensité de PI	131
Appendice C.3 : Détails relatifs à l'analyse quantitative faite au moyen du modèle de commerce mondial (GTM)	133

Faits saillants et principales constatations

- Les coûts du commerce international ont baissé de 15% entre 1996 et 2014. Les nouvelles technologies permettront de réduire encore plus les coûts du commerce. Selon nos projections, le commerce pourrait augmenter de 1,8 à 2 points de pourcentage par an jusqu'à 2030 du fait de la baisse des coûts du commerce, ce qui représenterait une croissance cumulée de 31 à 34 points de pourcentage sur 15 ans.
- L'adoption généralisée des technologies numériques modifie la composition du commerce des services et des marchandises, et redéfinit les droits de propriété intellectuelle liés au commerce. Le commerce des produits des technologies de l'information a triplé au cours des deux dernières décennies, atteignant 1 600 milliards de dollars EU en 2016.
- L'importance des services dans la composition des échanges devrait s'accroître. Nous prévoyons que la part du commerce des services passera de 21% à 25% en 2030.
- La numérisation a entraîné une diminution du commerce des produits numérisables (par exemple CD, livres et journaux), dont la part dans le commerce total des marchandises est passée de 2,7% en 2000 à 0,8% en 2016. Il est probable que cette tendance va se poursuivre avec l'avènement de l'impression 3D.
- La réglementation des droits de propriété intellectuelle, des flux de données et de la confidentialité, et la qualité de l'infrastructure numérique deviendront probablement de nouvelles sources d'avantage comparatif.
- La baisse des coûts du commerce peut profiter tout particulièrement aux MPME et aux entreprises des pays en développement si des politiques complémentaires appropriées sont mises en place, et si les problèmes liés à la diffusion de la technologie et à la réglementation sont résolus. D'après nos estimations, dans ce cas, la part des pays en développement dans le commerce mondial pourrait passer de 46% en 2015 à 57% d'ici à 2030.

1. Réduction des coûts du commerce : possibilités et défis

Dans le chapitre B, nous avons examiné comment la technologie numérique transforme l'activité économique, en orientant de plus en plus les habitudes d'achat vers Internet et en modifiant la manière dont les entreprises opèrent en leur permettant d'avoir accès à des données sur les préférences des consommateurs et d'adapter leurs cycles de production et leurs stratégies de commercialisation en fonction de ces renseignements. Dans la présente section, nous allons examiner en quoi les technologies numériques peuvent réduire les coûts du commerce. Nous montrerons que les technologies numériques peuvent atténuer l'importance de la distance, qu'elle soit géographique, linguistique ou réglementaire, et qu'elles facilitent la recherche de produits, qu'elles introduisent des mécanismes permettant de vérifier la qualité et la réputation et qu'elles simplifient les transactions transfrontières.

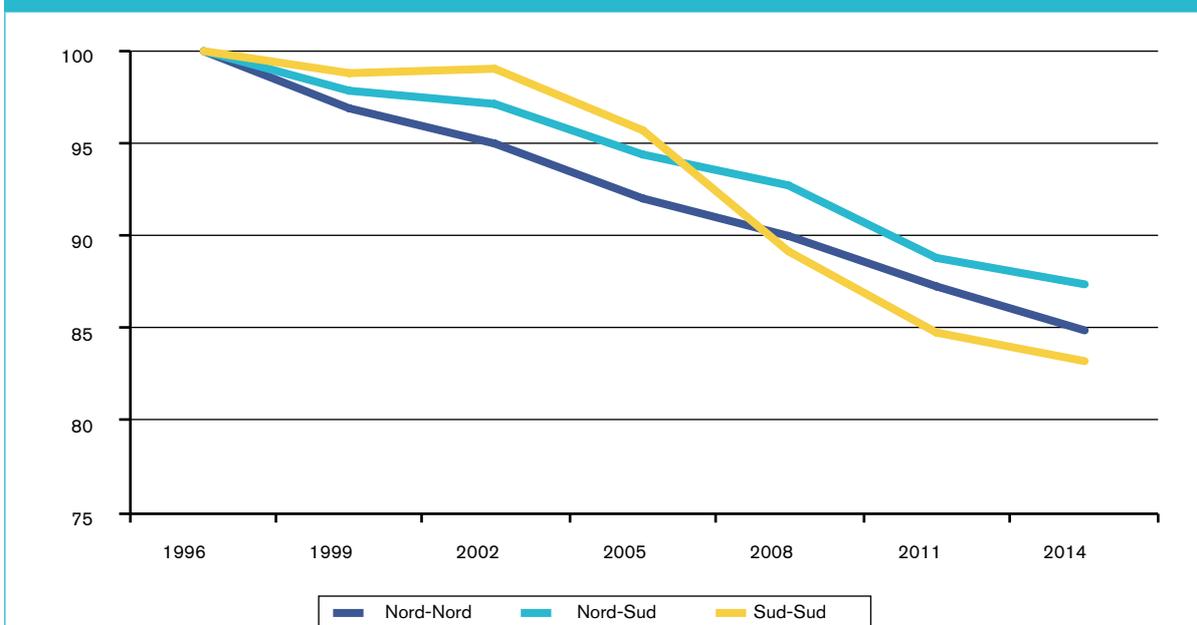
Pour voir comment les coûts du commerce international ont diminué au fil du temps, la figure C.1 indique la tendance pour trois types de flux commerciaux entre 1996 et 2014. Les coûts sont calculés comme un ratio entre le commerce international et le commerce intérieur. Une baisse

de ce ratio signifie que le commerce international a progressé plus rapidement que le commerce intérieur, ce qui indique que l'économie s'est mondialisée et que les obstacles au commerce international ont diminué. En moyenne, cette baisse a été d'environ 15% entre 1996 et 2014. La tendance a été similaire pour les échanges entre pays développés (« Nord-Nord ») et entre pays développés et pays en développement (« Nord-Sud »). Les coûts du commerce entre pays en développement (« Sud-Sud ») sont ceux qui ont diminué le plus lentement au début de la période, mais leur baisse s'est accélérée après le milieu des années 2000, dépassant celle des autres pays.

Cette tendance à la baisse est conforme à une étude récente de Egger *et al.* (2018), qui montre que les coûts totaux du commerce ont diminué dans le secteur manufacturier et le secteur des services entre 1995 et 2011. Cette étude montre aussi que les coûts du commerce sont plus élevés dans le cas des services, principalement en raison de coûts variables élevés.

Dans la figure C.2, les coûts du commerce des marchandises et des services sont répartis entre cinq éléments : coûts de transport, coûts logistiques, coût du passage des frontières, coûts d'information et de transaction, et obstacles liés à la politique commerciale. Les trois premières

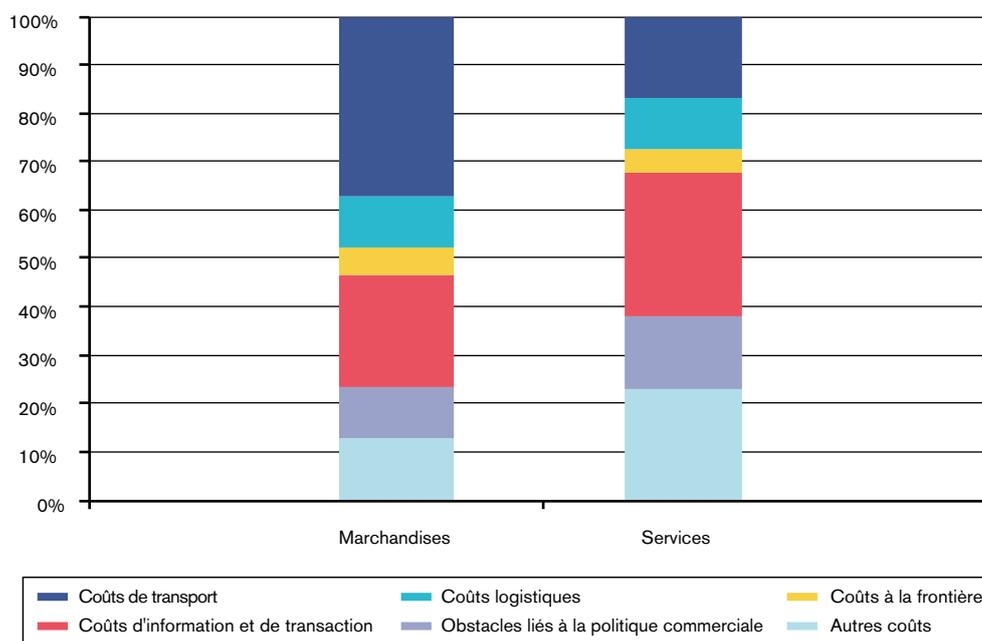
Figure C.1 : Coûts globaux du commerce, 1996-2014



Source : Base de données Banque mondiale/CESAP sur les coûts du commerce international.

Notes : Seules les paires de pays pour lesquelles des données étaient disponibles tout au long de la période 1996-2014 ont été incluses, soit 107 pays qui ont été classés comme pays développés (à revenu élevé) et pays en développement (à revenu intermédiaire/à faible revenu) sur la base du classement de la Banque mondiale pour l'année 2006, qui correspond au milieu des séries temporelles. Chaque série temporelle est normalisée à 100 au début de la période considérée.

Figure C.2 : Ventilation des coûts du commerce sur la base des données de 2014 (%)



Source : Calculs effectués par l'OMC à partir des données de la Base de données mondiale des entrées-sorties (WIOD), suivant la méthodologie de Chen et Novy (2011).

Notes : La figure montre dans quelle mesure les divers déterminants des coûts du commerce expliquent les variations de ces coûts entre les pays. Les déterminants des coûts de transport pris en compte sont la distance de transport effective entre les pays, établie par Egger *et al.* (2018), le fait qu'un pays a un littoral ou non, et l'existence d'une frontière commune entre les pays. Les coûts logistiques sont indiqués par l'Indice de performance logistique et l'Indice de connectivité des transports maritimes réguliers. Les coûts à la frontière sont calculés en fonction des délais d'exportation. Les déterminants des obstacles liés à la politique commerciale sont l'adhésion ou non des pays à un accord de libre-échange, leur appartenance ou non à l'Union européenne et les taux de change. Les déterminants des coûts d'information et de transaction sont l'existence ou non d'une langue ethnique commune ou d'un colonisateur commun, le fait que différents pays faisaient auparavant partie du même pays ou que l'un était une colonie de l'autre, le nombre bilatéral de migrants, l'indice sur la profondeur de l'information relative au crédit et l'indicateur relatif à l'exécution des contrats. Les « autres coûts » représentent la part de la variation des coûts totaux qui n'est pas expliquée par nos variables.

catégories correspondent au coût de la livraison de marchandises aux clients par les fournisseurs. Elles comprennent les coûts du transport, du chargement des marchandises, de l'entreposage, des services portuaires et du respect des procédures douanières. Les coûts d'information et de transaction comprennent les obstacles que les entreprises doivent surmonter pour trouver des partenaires commerciaux, obtenir des renseignements sur les goûts, les règlements et les prescriptions techniques, et faire exécuter les contrats. L'obtention de renseignements sur les normes de produit dans un pays étranger, les circuits de distribution et les préférences des clients coûte cher, et ces coûts augmentent avec la distance culturelle et linguistique. En outre, les coûts de transaction sont élevés dans le cadre du commerce transfrontières en raison des différents cadres institutionnels et de la nécessité d'effectuer des transactions financières transfrontières et des opérations de change. La dernière catégorie comprend les mesures de politique commerciale

qui compliquent l'accès au marché intérieur pour les entreprises étrangères, telles que les droits de douane, mais aussi les obstacles non tarifaires comme les règlements techniques, les normes de produit ou les licences.

Les coûts de transport représentent la part la plus importante de la variation des coûts globaux du commerce entre les pays, soit 37% pour les flux de marchandises et 17% pour les flux de services.¹ Les coûts logistiques ont la même importance dans le commerce des marchandises et dans le commerce des services, représentant 11% des coûts globaux du commerce.² Les coûts du passage des frontières dus à des retards représentent entre 5% et 6% des coûts du commerce globaux. Néanmoins, comme il y a d'autres coûts administratifs liés au respect des procédures douanières qui ne sont pas mesurés, ces chiffres sous-estiment sans doute l'importance de l'ensemble des coûts à la frontière.

Dans le commerce des marchandises, les coûts d'information et de transaction sont les plus importants après les coûts de transport.³ Dans le commerce des services, ils constituent les principaux obstacles au commerce, représentant 30% de la variation totale des coûts du commerce. Enfin, les obstacles liés à la politique commerciale sont aussi beaucoup plus importants dans le commerce des services, avec une part de 15%, contre 11% dans le commerce des marchandises.

L'élément qui reste inexplicé (« Autres coûts ») représente les obstacles au commerce qui ne sont pas pris en compte par les variables introduites dans l'estimation. Ils comprennent, par exemple, les différences de goût qui ne sont pas expliquées par les variables utilisées pour calculer les différences culturelles et linguistiques. Ils comprennent aussi les coûts liés au respect des procédures douanières et des règlements qui vont au-delà des retards aux frontières, et ceux qui ne sont pas affectés par les accords commerciaux. L'élément inexplicé des coûts du commerce est beaucoup plus élevé pour les services que pour les marchandises, ce qui peut indiquer aussi que les mesures visant les obstacles liés à la politique commerciale sont plus faibles dans le domaine des services. Pour une présentation détaillée de la méthodologie utilisée pour estimer la décomposition, voir l'appendice C.1.

En conclusion, les coûts du commerce ont baissé dans les pays développés comme dans les pays en développement. Les coûts de transport ainsi que les coûts d'information et de transaction jouent le rôle le plus important ; c'est donc leur baisse qui peut contribuer le plus à la réduction des coûts globaux du commerce. La baisse des coûts liés à la logistique, aux obstacles de politique commerciale et au passage des frontières peut aussi être très bénéfique. Dans la sous-section suivante, nous analysons dans quelle mesure les nouvelles technologies peuvent jouer un rôle dans la baisse des coûts et nous indiquons les possibilités de réaliser des gains d'efficacité supplémentaires. La section C.3 s'appuie sur cette analyse pour quantifier les gains commerciaux potentiels découlant d'une baisse des coûts du commerce induite par la technologie.

(a) Coûts de transport et de logistique

Les coûts de transport dépendent du type de produit transporté, de la distance entre les pays et de l'infrastructure commerciale des pays d'origine, de destination et de transit. Limao et Venables (2001) soulignent que la qualité de l'infrastructure de transport a une incidence considérable sur la capacité des pays à faire du commerce. Ils ont créé un indice

de qualité de l'infrastructure basé sur la couverture des réseaux routier, ferroviaire et téléphonique dans 103 pays, qui montre qu'un pays dont l'indice se situe au 75^{ème} percentile de l'indice a des coûts de transport supérieurs de 12% à ceux du pays médian et un commerce inférieur de 28%.⁴ L'étude se concentre aussi sur les déterminants des mauvais résultats à l'exportation de l'Afrique subsaharienne et identifie l'investissement dans les infrastructures comme l'un des principaux goulets d'étranglement.

Les coûts de transport ne sont pas limités au prix payé pour acheminer des marchandises du lieu d'origine à la destination ; une part importante de ces coûts est liée aux retards et aux incertitudes. Cela est dû à l'importance croissante des chaînes d'approvisionnement mondiales, de la gestion des stocks juste à temps et de la distribution à flux tendus. Pour les exportateurs qui s'approvisionnent en intrants intermédiaires auprès de diverses sources, la perturbation d'une livraison peut compromettre l'ensemble du processus de production. Hummels et Schaur (2010) quantifient les coûts des retards, en suggérant que chaque jour de transit additionnel équivaut à un droit *ad valorem* de 0,6% à 2,3%, et que le commerce des intrants intermédiaires est plus sensible de 60% au facteur temps. De même, selon la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED) (2017b), tout transbordement supplémentaire qui rallonge le délai d'expédition est associé à une diminution de 40% de la valeur des exportations bilatérales.

(i) *L'intelligence artificielle et la conduite autonome réduisent les coûts de transport*

De nombreuses avancées technologiques récentes ont un impact considérable sur les coûts de transport et de logistique. L'utilisation du GPS (système mondial de positionnement) pour la navigation et la planification d'itinéraires s'est généralisée au cours des dernières années. Les nouvelles technologies, comme l'intelligence artificielle (IA), promettent d'avoir également une influence générale, vu que les applications de l'IA comprennent la conduite autonome et la planification d'itinéraires en temps réel.

Par exemple, une start-up indienne a actuellement la capacité de transformer le transport par camion sur une longue distance en Inde en créant un réseau de relais basé sur l'intelligence artificielle et les mégadonnées. Ce réseau connecte les chauffeurs aux camions afin que plusieurs chauffeurs puissent se partager les longs trajets, divisés en périodes de quatre à cinq heures, au lieu d'avoir un seul chauffeur pour effectuer tout le trajet. Ce système utilise aussi

des algorithmes d'apprentissage automatique pour prévoir précisément quand les camions arriveront aux points d'arrêt et les quitteront et à quelles stations-services les chauffeurs devraient faire le plein. Ce système permet de réduire le temps de trajet de plus de moitié, en évitant les pauses qui seraient nécessaires pour un chauffeur seul.

(ii) Le suivi des cargaisons et des envois réduit les coûts logistiques

La logistique des cargaisons et des envois est optimisée grâce à une combinaison de systèmes télématiques embarqués,⁵ de robotisation et d'intelligence artificielle. Les principaux avantages sont liés au suivi des cargaisons et des envois qui permet d'améliorer l'efficacité opérationnelle, d'effectuer des ajustements en temps réel et de rendre les systèmes logistiques plus sûrs. Par exemple, les capteurs de l'Internet des objets (IdO) peuvent réduire les coûts du commerce mondial en améliorant l'efficacité des expéditions et du transport. Premièrement, ils permettent de réduire les pertes de marchandises pendant le transport. Deuxièmement, les systèmes de suivi des envois permettent aux entreprises d'optimiser les itinéraires pour utiliser les conteneurs de manière efficace. En moyenne, le taux d'utilisation des conteneurs n'est que de 20% parce que les entreprises expédient souvent des marchandises à différents endroits. Le suivi de chaque conteneur au moyen des technologies IdO pourrait augmenter de 10% à 25% le taux d'utilisation des conteneurs et réduire les dépenses annuelles pour les conteneurs de près de 13 milliards de dollars EU d'ici à 2025 (Lund et Manyika, 2016). À la fin de 2015, il y avait au total 2,9 millions de systèmes de

suivi à distance des envois installés dans le monde, et ce nombre devrait augmenter à un taux annuel composé de 23% dans les années à venir (Bern Insight, 2016). En 2015, dans le cadre de l'un des plus importants déploiements commerciaux de systèmes de suivi des envois, l'entreprise de transport maritime, Maersk, basée au Danemark, a mis en place un système de suivi en temps réel pour l'ensemble de sa flotte de quelque 300 000 conteneurs frigorifiques (voir l'encadré C.1).

La diminution des coûts du matériel informatique et l'amélioration de la durée de vie des batteries devraient aussi encourager l'adoption des technologies de suivi des cargaisons dans les prochaines années. Cela concerne non seulement les conteneurs, mais aussi chaque produit qui peut désormais être suivi au moyen de la technologie d'identification par radiofréquence. Cela est aussi très efficace pour gérer les stocks des chaînes d'approvisionnement mondiales qui comportent de nombreux stades de production, permettant de réduire de pas moins de 70% les coûts des stocks et de 11% à 14% les pertes de marchandises en transit (McKinsey Global Institute, 2016).

(iii) Les robots intelligents et l'intelligence artificielle réduisent les coûts d'entreposage et les coûts des stocks

L'automatisation de l'entreposage, du déchargement des remorques et des conteneurs, et du conditionnement permettent aussi de réduire les coûts et de gagner du temps. Combinée aux algorithmes d'IA, l'utilisation de la robotique de pointe minimise les coûts de stockage et accélère la distribution aux

Encadré C.1 : Étude de cas – Comment Maersk utilise les technologies numériques pour optimiser les opérations et réduire les coûts

En 2012, face à la concurrence croissante, la société danoise de transport maritime Maersk s'est associée à la société multinationale suédoise Ericsson, spécialisée dans les réseaux et les télécommunications, pour développer un système de gestion à distance en temps réel de sa flotte de conteneurs frigorifiques. Près de 300 000 conteneurs frigorifiques ont été équipés de dispositifs qui transmettent à distance, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, au usage privé de Maersk des données sur les paramètres clés des conteneurs comme la température, l'alimentation en électricité et l'emplacement, données qui sont analysés en temps réel au siège de l'entreprise.

Ce système, qui est opérationnel depuis le milieu de 2015, permet à Maersk de suivre et de surveiller le fonctionnement des conteneurs à tout moment. Selon Maersk, avant l'introduction du système de gestion à distance des conteneurs, près de 60% des réclamations concernant les cargaisons étaient dues au dysfonctionnement des conteneurs frigorifiques, à la mauvaise gestion des périodes d'arrêt par les fournisseurs et au mauvais réglage de la température. Le système peut aussi être utilisé pour détecter les pannes, ce qui permet de réparer plus rapidement et de réduire les inspections manuelles du matériel. L'objectif final de Maersk est d'utiliser l'analyse des mégadonnées à des fins de maintenance préventive pour éviter les pannes.

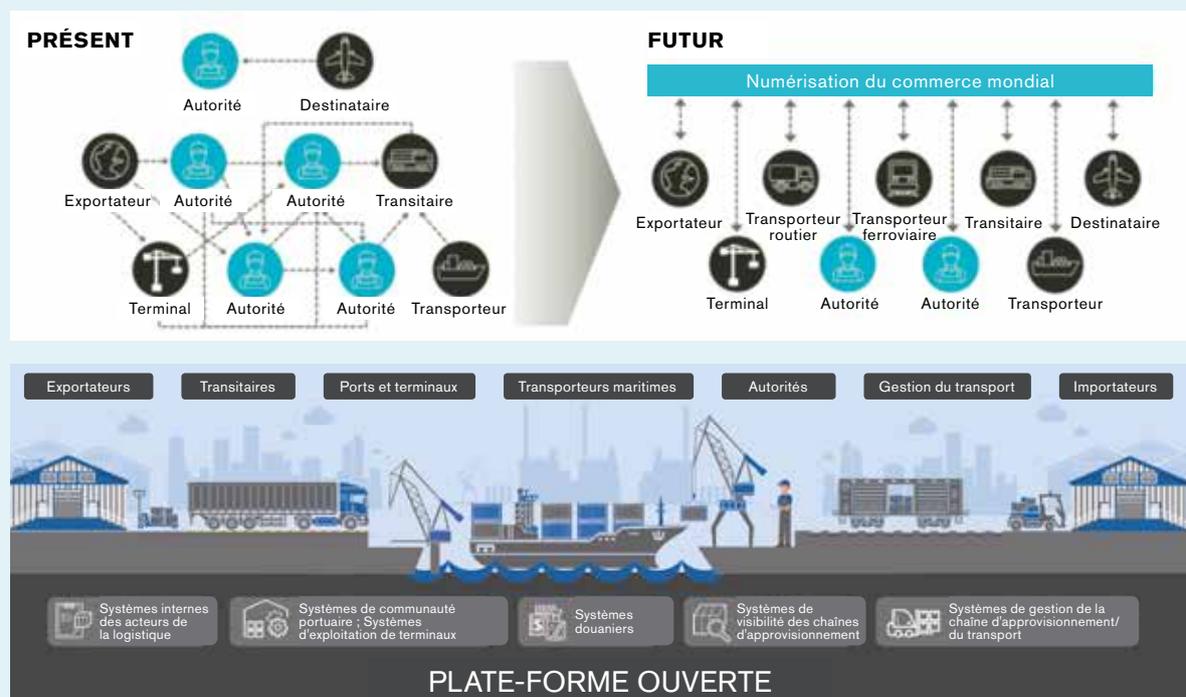
Encadré C.1 : Étude de cas – Comment Maersk utilise les technologies numériques pour optimiser les opérations et réduire les coûts (suite)

Ce système a aussi permis à Maersk d'accélérer les processus d'inspection physique avant la mainlevée des conteneurs destinés à l'exportation. Avant sa mise en place, tous les conteneurs faisaient l'objet d'inspections détaillées et coûteuses. L'utilisation des capteurs intelligents permet de connaître précisément l'état des conteneurs, et aide à déterminer le type d'inspection nécessaire avant la mainlevée pour l'exportation. Si le conteneur frigorifique fonctionne comme prévu, une inspection visuelle rapide suffit, ce qui est désormais le cas pour environ 70% des conteneurs. Cela permet à Maersk de réduire les temps de rotation, de mieux utiliser les actifs et de réaliser des économies opérationnelles (Murison, 2016). Cela a amené Maersk à lancer récemment un projet pilote pour étendre le système de surveillance à d'autres types de conteneurs.

Depuis septembre 2017, les clients peuvent voir l'état de leur cargaison en temps réel. Cela permet de prendre des mesures correctives si le conteneur n'est pas utilisé de manière optimale à n'importe quel stade de la chaîne du froid, du prérefroidissement de la cargaison par le fournisseur et de la vérification par le camionneur que le conteneur frigorifique est bien branché au bon fonctionnement pendant le trajet maritime et à la bonne manipulation à l'arrivée jusqu'à la livraison au client final. En cas de variations, l'expéditeur informe le client et examine les mesures correctives possibles. L'utilisation des capteurs intelligents et de l'analyse des données a permis à Maersk de développer ses activités, traditionnellement axées sur le transport physique de marchandises à travers le monde, en fournissant à ses clients des services de conseils à valeur ajoutée.

Outre l'utilisation de capteurs intelligents et de l'IA, Maersk, en collaboration avec l'entreprise américaine IBM, a annoncé en janvier 2018 la création d'une plate-forme de numérisation du commerce mondial basée sur la chaîne de blocs (voir la figure C.3). Cette plate-forme, appelée TradeLens, a été officiellement lancée en août 2018. Elle vise à connecter les diverses parties impliquées dans le commerce international, afin de réduire les coûts de dépôt, de vérification, de traitement et de coordination associés au transport transfrontières – selon Maersk, les documents et la bureaucratie peuvent représenter jusqu'à un cinquième des coûts totaux afférents au transport d'un conteneur.

Figure C.3 : Projet de plate-forme de commerce mondial Maersk-IBM



Source : White (2018).

clients finaux. Les grandes entreprises de commerce électronique utilisent déjà l'intelligence artificielle et la robotique de manière intensive pour optimiser leurs réseaux de stockage et de distribution, pour planifier les itinéraires de livraison les plus efficaces et pour utiliser leurs entrepôts de manière optimale. De nombreuses start-up développent des robots autonomes qui fonctionnent aux côtés des humains et suivent les stocks qui se trouvent en rayon dans les entrepôts, les usines et les centres de distribution.

Les clients des plates-formes de commerce électronique génèrent de grandes quantités de données, que l'intelligence artificielle peut utiliser pour développer des outils de prévision afin de mieux prévoir la demande des consommateurs. Un détaillant en ligne allemand, qui utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour prévoir ce que les clients vont acheter, a mis au point un système si fiable qu'il peut prévoir avec 90% d'exactitude ce qui sera vendu dans les 30 jours suivants (The Economist, 2017b). Cela permet de mieux gérer l'approvisionnement en réduisant les stocks, et raccourcit les délais de livraison.

(iv) L'impression 3D peut réduire les coûts de transport et de logistique

La fabrication additive, ou impression 3D, peut réduire radicalement les coûts de transport et de logistique en réduisant le nombre de pièces et de composants qui doivent être échangés et en favorisant la production décentralisée à proximité des consommateurs.

L'impression 3D a deux conséquences majeures pour l'organisation de la production et des chaînes de valeur mondiales (CVM). Premièrement, elle raccourcit la chaîne de production. Les intrants complexes et/ou personnalisés sont généralement produits à partir de nombreuses pièces et composants, qui doivent tous être conçus, prototypés et fabriqués séparément, mais qui doivent s'assembler parfaitement. L'impression 3D permet de produire ces intrants complexes d'une pièce, ce qui réduit le nombre d'étapes de production (la section C.2c) apporte des précisions à ce sujet). Les grands constructeurs automobiles et aéronautiques utilisent beaucoup l'impression 3D pour fabriquer rapidement des pièces de rechange, tout en expérimentant l'impression 3D du produit entier.

Deuxièmement, l'impression 3D favorise les stratégies de production décentralisée. La moindre dépendance à l'égard de sous-composants spécifiques et la réduction des coûts de main-d'œuvre aident les entreprises à décentraliser la production et à se

rapprocher ainsi des consommateurs. Par exemple, des chaussures de sport sont imprimées en 3D dans de nouvelles usines automatisées en Allemagne et aux États-Unis. Ces usines, appelées « Speedfactories », sont censées réduire à moins d'une semaine le délai entre la fin de la conception de la chaussure et sa livraison en magasin (The Economist, 2017a).

Ces changements dans le processus de production raccourcissent les délais de livraison, réduisent les coûts d'expédition et d'entreposage et suppriment éventuellement les coûts d'importation/d'exportation des produits finaux. Pour les objets imprimés sur mesure, la différence entre le coût de l'impression 3D et le prix de détail de l'objet peut être de l'ordre de 8 à 80 fois (DHL, 2016a).

(v) Possibilités et défis

Les nouvelles technologies font baisser les coûts du commerce en réduisant les coûts de transport et d'entreposage, mais aussi en réduisant le temps de transport et l'incertitude de la date de livraison grâce à une meilleure logistique. Ces coûts représentent une part importante des coûts globaux du commerce, comme le montre la figure C.2, et de ce fait, leur réduction peut avoir une grande incidence sur les flux commerciaux.⁶

Une baisse des coûts de la logistique permet aux micro, petites et moyennes entreprises (MPME) de participer davantage au commerce international. Les petites entreprises vendent de plus petites quantités de produits que les grandes entreprises, de sorte que les coûts fixes du commerce, comme les coûts logistiques, représentent souvent une part plus élevée du coût unitaire des produits que pour leurs concurrents qui exportent de plus gros volumes. En Amérique latine, les coûts logistiques intérieurs, y compris la gestion des stocks, l'entreposage, le transport et la distribution, peuvent représenter plus de 42% des ventes totales des PME, contre 15% à 18% pour les grandes entreprises (OMC, 2016a). Le manque de fiabilité et le coût élevé du transport peuvent aussi constituer des obstacles importants pour les MPME des États-Unis qui exportent vers l'Union européenne (USITC, 2014). Par conséquent, des services logistiques moins chers et plus fiables peuvent profiter beaucoup plus aux MPME.

L'utilisation de la technologie de suivi des envois et des marchandises donne la possibilité aux gouvernements des pays en développement de mieux suivre le commerce international. Cette technologie peut être utilisée, par exemple, pour empêcher le « détournement » de biens d'exportation. Les exonérations de taxes et de droits d'accise à

l'exportation amènent souvent les commerçants à détourner les marchandises destinées aux marchés étrangers vers le marché intérieur et à réclamer indûment des avantages fiscaux. Une étude portant sur le marché d'exportation du Kenya a révélé que le suivi des expéditions de marchandises augmentait non seulement les recettes fiscales de l'État, mais aussi l'efficacité des entreprises en raison de la réduction du temps de rotation des camions (Siror *et al.*, 2010).

Les pays en développement devront investir dans les infrastructures de base pour profiter au maximum des économies que permettent les nouvelles technologies. En Afrique, les routes accidentées et le manque de liaisons ferroviaires causent sans cesse des problèmes. Selon les estimations, le doublement de la distance entre l'acheteur et le vendeur augmente les coûts de transport quatre à cinq fois plus en Éthiopie et au Nigéria qu'aux États-Unis (Atkin et Donaldson, 2015). Le problème est particulièrement aigu dans les pays sans littoral comme le Malawi, le Rwanda et l'Ouganda, où les coûts de transport peuvent représenter de 50% à 75% du prix de vente des marchandises. Par exemple, l'expédition d'une voiture de la Chine vers la Tanzanie, sur la côte de l'Océan indien, coûte 4 000 dollars EU, mais son expédition de la Tanzanie vers l'Ouganda voisin peut coûter 5 000 dollars EU de plus (The Economist, 2013a).

(b) Coûts du passage des frontières

L'infrastructure de transport et la distance ne sont pas les seuls facteurs qui influent sur le commerce transfrontières. Ce qui se passe aux frontières joue aussi un rôle. Les multiples procédures et règlements douaniers peuvent être d'importants obstacles aux flux de marchandises, particulièrement pour les petites entreprises. Le temps et les ressources consacrés au respect des exigences en matière de documentation peuvent parfois être de plus grandes entraves au commerce que les obstacles traditionnels, comme les droits de douane.

Une étude de Volpe Martinicus *et al.* (2015), qui analyse le processus d'exportation en Uruguay, a montré qu'une augmentation de 10% des retards en douane entraînait une diminution de 3,8% des exportations. L'étude a aussi montré que l'incidence des retards dus aux procédures douanières était plus forte dans le cas des ventes à de nouveaux acheteurs, de marchandises sensibles au facteur temps et des ventes destinées à des pays difficiles d'accès. Le tableau C.1 présente des renseignements régionaux sur le temps et les ressources nécessaires pour le respect des procédures à l'exportation et à l'importation. La tendance générale est que plus la région est pauvre, plus il faut de temps pour respecter les procédures à la frontière et plus cela coûte cher. Parmi toutes les régions mentionnées dans le tableau, c'est en Afrique subsaharienne que le respect des procédures coûte le plus cher et prend le plus de temps.

Tableau C.1 : Goulets d'étranglement aux frontières, par région

Région	Exportations		Importations	
	Temps nécessaire pour le respect des procédures (heures)	Coût du respect des procédures (\$EU)	Temps nécessaire pour le respect des procédures (heures)	Coût du respect des procédures (\$EU)
Asie de l'Est et Pacifique	124,1	499,6	136,1	542,4
Europe et Asie centrale	55,9	305,2	53,2	279,8
Amérique latine et Caraïbes	115,8	636,9	144,3	803,5
Moyen-Orient et Afrique du Nord	136,9	708	206,8	806,9
Pays à revenu élevé de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE)	15,1	185,3	12,2	137,2
Asie du Sud	136,4	549,3	218,5	979,6
Afrique subsaharienne	187,9	807,2	239,4	986,9

Source : Base de données Doing Business de la Banque mondiale.

Notes : Il s'agit du respect des procédures à la frontière et du respect des exigences en matière de documentation pour une cargaison de marchandises.

(i) *Les systèmes électroniques de base réduisent le temps consacré au respect des formalités douanières*

La rationalisation des procédures grâce aux technologies de l'information et de la communication (TIC) de base peut contribuer à la réduction des coûts du passage des frontières. Les deux principaux outils sont le système d'échange électronique de données (EDI) et le guichet unique électronique. Le système EDI permet de transférer par voie électronique les documents commerciaux, tandis que le guichet unique électronique est plus large et permet aux acteurs du commerce de présenter les documents et d'autres renseignements à un point d'entrée unique pour accomplir les procédures douanières. La figure C.4 montre que l'adoption de ces deux systèmes varie selon les régions. Alors que de nombreux pays utilisent maintenant le système EDI, le recours aux guichets uniques tarde à se développer dans toutes les régions.

Une étude sur l'incidence de l'adoption par le Costa Rica d'un système de guichet unique électronique et ses effets sur les exportations des entreprises a montré que ce système facilite effectivement les échanges. Les entreprises dont les exportations étaient traitées au moyen d'un guichet unique ont vu le nombre d'acheteurs étrangers augmenter de 22,4%, et leurs exportations moyennes par acheteur de 43,5% (Banque interaméricaine de développement, 2016). Les recherches de la Banque mondiale ont aussi montré que les économies disposant de systèmes de dédouanement électroniques pleinement

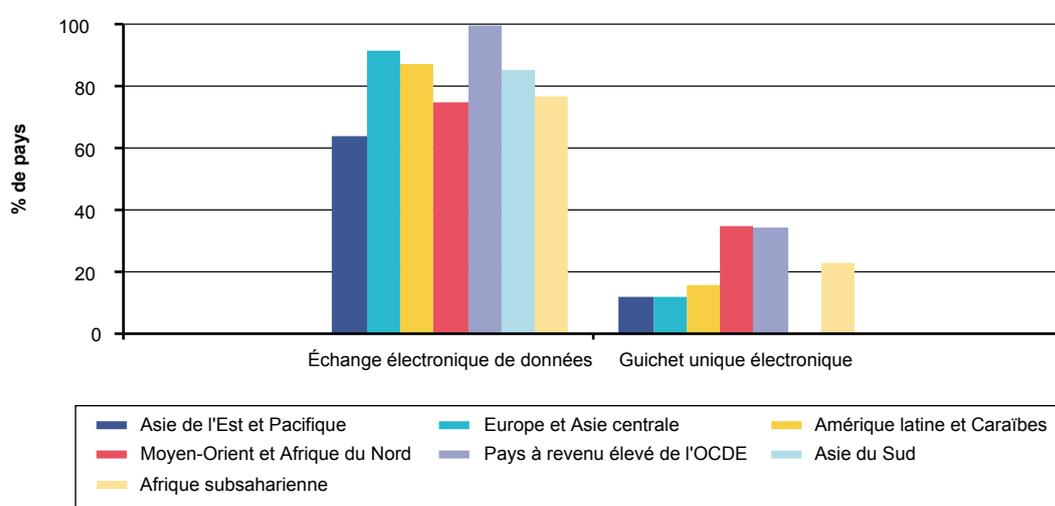
opérationnels réalisaient des gains considérables (Banque mondiale, 2017c). Le temps nécessaire pour le respect des procédures à la frontière diminue de plus de 70% pour les importations et les exportations lorsque les déclarations en douane sont présentées et traitées en ligne (voir la figure C.5). Cela signifie que même l'utilisation de technologies simples peut grandement contribuer à la réduction des frictions commerciales et à l'accroissement de la compétitivité des pays.

L'Accord sur la facilitation des échanges (AFE) de l'OMC, qui est entré en vigueur en 2017, vise à rationaliser et à moderniser davantage les processus d'importation et d'exportation en encourageant l'adoption de systèmes de guichet unique et en simplifiant les procédures douanières. D'après les estimations, la pleine mise en œuvre de l'AFE pourrait réduire les coûts du commerce de 14,3% en moyenne (OMC, 2015b).

(ii) *Les chaînes de bloc et l'intelligence artificielle peuvent réduire davantage les coûts liés au respect des procédures douanières*

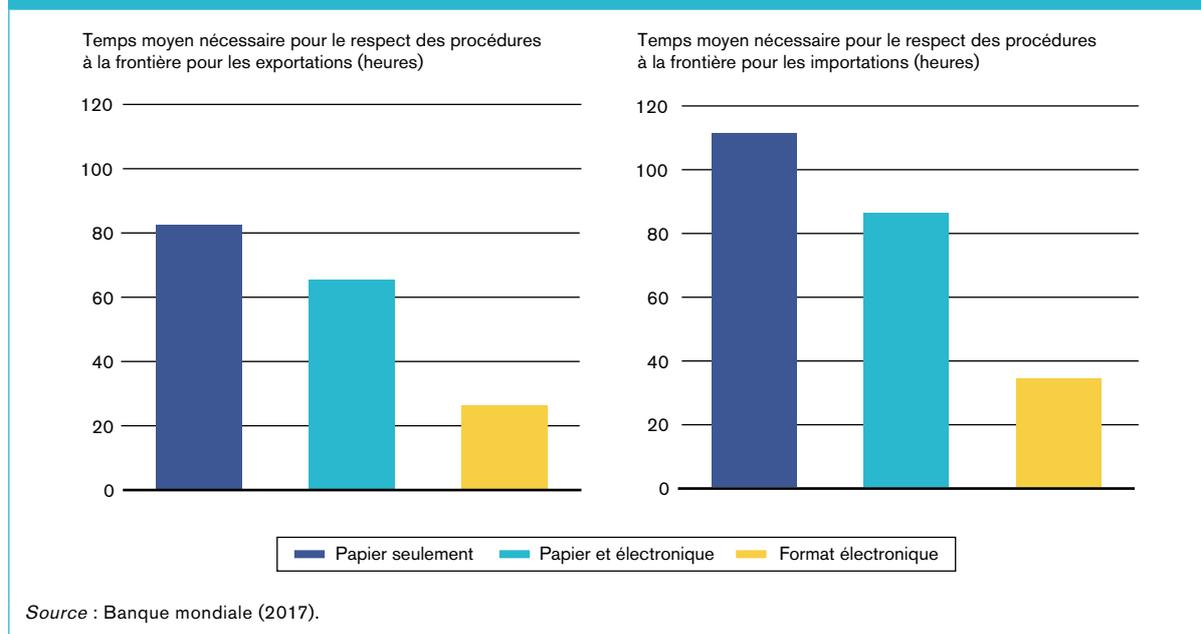
La technologie aide de plus en plus à faire face à l'ampleur et à la complexité des règlements relatifs au commerce international. L'intelligence artificielle est utilisée pour aider les entreprises à respecter la réglementation (technologie réglementaire, ou « RegTech »). Par exemple, des logiciels basés sur l'intelligence artificielle peuvent être utilisés pour suivre

Figure C.4 : Proportion de pays utilisant les systèmes d'échange électronique de données et de guichet unique électronique pour le traitement électronique des documents douaniers à l'exportation en 2017, par région (%)



Source : Base de données Doing Business de la Banque mondiale.

Figure C.5 : Gains découlant de la numérisation des documents douaniers



et analyser en continu les modifications réglementaires, et pour faire des recommandations aux clients afin de garantir la conformité. Ces logiciels examinent des millions de pages de réglementation, ce qui permet d'économiser à la fois du temps et de l'argent.

La technologie des registres distribués pourrait permettre d'administrer les guichets uniques de façon plus efficace, transparente et sûre. Elle pourrait aider à rationaliser les formalités douanières en éliminant les processus redondants, accélérer les procédures douanières et le dédouanement, réduire les coûts et la fraude, renforcer la transparence et la vérifiabilité, et améliorer la coordination entre les divers organismes, autorités et acteurs impliqués dans le commerce transfrontières. En outre, l'utilisation de contrats intelligents permet d'automatiser certains processus, comme le paiement des droits (Ganne, 2018).

Plusieurs organisations, comme le Centre des Nations Unies pour la facilitation du commerce et les transactions électroniques, la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction et l'Organisation mondiale des douanes, examinent comment les technologies peuvent faciliter le commerce transfrontières, et plusieurs projets conceptuels et pilotes ont été mis au point.

(iii) Possibilités et défis

La technologie peut réduire le temps et les ressources nécessaires pour accomplir les procédures douanières. Il est prouvé que la numérisation réduit

considérablement les coûts du commerce, mais des pratiques douanières inefficaces entravent encore les échanges, en particulier pour les produits manufacturés. La figure C.2 montre que ces coûts représentent environ 6% de la variation total des coûts du commerce, et il est probable que ce chiffre ne soit qu'une valeur minimale, car les estimations ne sont pas fondées sur les données des pays les moins avancés (PMA).

Les nouvelles technologies, comme la chaîne de blocs, promettent de réduire davantage les coûts liés au passage des frontières. Comme on l'a vu dans la section C.2, le plus grand potentiel de ces nouvelles technologies réside dans les flux de marchandises sensibles au facteur temps, comme le commerce lié aux chaînes de valeur mondiales. En outre, comme la lourdeur des procédures douanières nuit surtout aux MPME, leur simplification favoriserait particulièrement l'entrée sur les marchés d'exportation des petites entreprises qui, sans cela, ne vendraient que sur leur marché national (OMC, 2016b). Enfin, la baisse des coûts liés au passage des frontières peut stimuler les importations et les exportations des pays en développement, où ces coûts sont actuellement les plus élevés.

Les observations préliminaires sur la chaîne de blocs sont prometteuses, mais il faut encore explorer pleinement le potentiel de cette technologie et comment elle peut être intégrée aux systèmes douaniers existants. En outre, plusieurs difficultés techniques et réglementaires doivent encore être surmontées pour que l'on puisse exploiter pleinement

son potentiel, notamment le manque d'interopérabilité des diverses plates-formes, la question du statut juridique des contrats intelligents, et les questions de responsabilité. Ces points sont examinés plus en détail dans la section C.1c)v).

Malgré ces difficultés, les importantes possibilités qu'offre l'utilisation de la technologie des registres distribués pour numériser le commerce transfrontières et réduire les coûts associés ont amené de grands acteurs privés dans le domaine de la logistique et de la technologie de l'information à lancer une plate-forme commerciale mondiale fondée sur la technologie de la chaîne de blocs, qui a pour ambition de connecter toutes les parties participant au commerce transfrontières et de numériser et automatiser entièrement les transactions (voir l'encadré C.1).

(c) Coûts d'information et de transaction

Il est difficile de faire du commerce à distance avec des partenaires de pays étrangers car il est plus difficile qu'avec des partenaires locaux de trouver des renseignements sur les acheteurs et les vendeurs potentiels, leurs produits et la qualité de ces derniers. Il est aussi plus difficile de vérifier la réputation et les renseignements et de faire exécuter les contrats.

Lorsque les coûts du commerce sont élevés, les entreprises ne peuvent pas tirer profit des différences de prix entre les marchés. Par conséquent, l'absence de commerce se manifeste par une grande dispersion spatiale des prix. Plusieurs études économiques se fondent sur ce fait pour analyser comment la technologie peut stimuler les échanges. Elles montrent qu'un accès plus facile aux renseignements sur les marchés au moyen d'une technologie, même relativement simple, comme les téléphones mobiles, réduit la variation spatiale des prix dans les pays en développement, en particulier sur les marchés agricoles (Bernard *et al.*, 2007 ; Aker et Mbiti, 2010). Une étude qui analyse les flux commerciaux agricoles aux Philippines montre qu'environ la moitié de la dispersion des prix observée entre les îles est due aux coûts de recherche plutôt qu'aux coûts de transport (Allen, 2014). Elle décrit aussi un fait connu, à savoir que les grands exploitants agricoles sont mieux à même de faire face à ces coûts et ont donc plus de chance d'« exporter » vers les autres îles. Les auteurs montrent ensuite que l'accès plus facile aux renseignements sur les marchés grâce aux téléphones mobiles a profité tout particulièrement aux petits agriculteurs, qui ont été plus nombreux à se lancer dans le commerce inter-îles.

La réputation et la confiance sont essentielles pour le succès de toute transaction commerciale, et plus

encore dans le cas du commerce transfrontières, où le recours aux institutions chargées de faire exécuter les contrats peut être limité. Startz (2017) montre que pour surmonter les coûts de recherche et de transaction, les entrepreneurs du Nigéria choisissent souvent de se déplacer pour importer des marchandises d'un endroit éloigné, ce qui rend l'importation très onéreuse. Selon Startz, la facilitation de la recherche de renseignements et la garantie que les contrats seront respectés peuvent avoir une incidence considérable sur le volume et les gains du commerce. Cela est particulièrement important pour les pays en développement en raison de la faiblesse des institutions chargées de l'exécution des contrats, de l'accès limité aux technologies de l'information et de la petite taille des entreprises dans ces pays.

Les ventes et les achats internationaux nécessitent aussi des transactions financières internationales. Actuellement, les transactions transfrontières sont presque exclusivement traitées par les banques par le biais de correspondants bancaires, c'est-à-dire que des banques locales effectuent les transactions au nom des banques qui n'ont pas de présence locale. La part de marché des banques dans les transactions transfrontières entre entreprises (B2B) et entre entreprises et consommateurs (B2C) est de plus de 95%⁷ (McKinsey & Company, 2016). Les grandes banques ont une part monopolistique de ce segment du marché en raison de l'étendue du cadre réglementaire, de l'absence d'autres options et du coût du maintien de relations de banques correspondantes. Par conséquent, les transactions B2B transfrontières peuvent être environ dix fois plus coûteuses que les transactions intérieures.⁸

(i) *Les plates-formes en ligne permettent de remédier au manque d'informations et de confiance dans les transactions transfrontières*

Comme on l'a vu dans la section B, les plates-formes en ligne aident à réduire les coûts d'appariement des acheteurs et des vendeurs, d'obtention de renseignements sur les marchés et de fourniture de renseignements aux clients potentiels. Elles peuvent donc aider à accroître la participation au commerce international plus encore qu'au commerce intérieur, en fournissant des mécanismes de retour d'information et de garanties, qui permettent de renforcer la confiance des consommateurs dans les vendeurs en ligne.

Pour fournir des informations crédibles sur la qualité de leurs produits et développer leur réputation, les entreprises peuvent recourir depuis longtemps à la création d'une marque. Les marchés numériques

comprennent des milliers de petits acteurs qui sont souvent méconnus des clients potentiels. C'est pourquoi, au lieu de forger la réputation sur la base d'une marque, ces marchés ont développés des mécanismes pour surmonter l'asymétrie de l'information sur la qualité et la fiabilité. Le mécanisme le plus courant est le système de notation en ligne, dans lequel l'évaluation des acheteurs et des vendeurs précédents est postée pour être vue par les futurs participants au marché. Une autre application importante consiste à fournir des renseignements sur la qualité des produits. Au lieu de donner des renseignements sur un vendeur particulier, ces évaluations peuvent renseigner les consommateurs sur les meilleurs produits disponibles sur une plate-forme.

Les études d'Alibaba sur sa propre plate-forme indiquent que la réputation joue un rôle essentiel dans les résultats des exportateurs, plus que la qualité observable des produits. Une meilleure réputation permet aux exportateurs d'accroître leurs recettes et leurs volumes de ventes, et d'avoir un plus grand nombre d'acheteurs et de marchés (Chen et Wu, 2016). Les plates-formes de notation en ligne peuvent aussi avoir une influence importante sur les marchés de services traditionnels. Luca (2016) montre que les évaluations de restaurants en ligne influent sur la demande, en particulier dans le cas des restaurants indépendants. Cela indique que les systèmes de notation en ligne permettent aux petites entreprises d'éviter d'avoir à créer une marque (comme le font les chaînes de restaurants) pour se forger une réputation.

Les plates-formes en ligne ont aussi lancé l'économie du « partage » et elles ont transformé le commerce des services touristiques. Elles se substituent de plus en plus aux circuits traditionnels comme les agences de voyage pour l'organisation de l'hébergement et du transport. En outre, les plates-formes de partage élargissent les marchés de services en permettant la désagrégation de biens physiques et leur consommation en tant que services. Les services de location d'appartements, de voitures et de bateaux sont souvent vendus maintenant par des propriétaires privés directement aux consommateurs, sans passer par les intermédiaires traditionnels. Les systèmes de notation et de recommandation intégrés aux plates-formes en ligne aident à établir la confiance nécessaire à leur succès. Les plates-formes de partage comme Airbnb, basée en Californie, ont aussi élargi les marchés, notamment celui du logement, en augmentant les possibilités d'hébergement dans des lieux et à des périodes où les services d'hébergement traditionnels sont rares.⁹

(ii) L'Internet des objets et la chaîne de blocs peuvent simplifier les procédures de vérification et de certification

Les nouvelles technologies offrent des moyens plus efficaces et moins chers d'instaurer la confiance grâce à la certification et à la vérification de l'origine. Les systèmes de traçabilité électroniques dans les chaînes d'approvisionnement qui utilisent l'IdO et la technologie des registres distribués (chaîne de blocs) donnent aux entreprises de nouveaux moyens de prouver la source et l'authenticité des produits. Diverses initiatives ont déjà été lancées pour assurer la transparence des chaînes d'approvisionnement et empêcher la contrefaçon. Les applications vont des produits pharmaceutiques aux produits de luxe, et des diamants aux produits électroniques. Sur le marché du commerce équitable, l'entreprise sociale Provenance, établie au Royaume-Uni, utilise la technologie des registres distribués, combinée à l'étiquetage intelligent, pour prouver l'origine des produits alimentaires et les endroits par lesquels ils sont passés avant d'arriver au consommateur. L'entreprise a réalisé un projet pilote réussi pour suivre la provenance de thon indonésien, qui a permis de vérifier les allégations de durabilité sociale.

(iii) La traduction en temps réel et les plates-formes en ligne abolissent les barrières linguistiques

La littérature économique a montré depuis longtemps l'importance des obstacles à la communication pour le commerce international (Harris, 1995). Sur la base d'une méta-analyse d'études académiques concernant les effets de la langue sur le commerce international, Egger et Lassman (2012) ont conclu que l'existence d'une langue commune (officielle ou parlée) augmente directement les flux commerciaux de 44%. Quand des partenaires commerciaux ont des différences linguistiques très prononcées, il est probable qu'ils commercent peu entre eux (Isphording et Otten, 2013). Dans une enquête d'Eurobaromètre auprès d'acheteurs en ligne, 42% des personnes interrogées ont indiqué qu'elles ne faisaient jamais d'achats en ligne dans une langue étrangère, et 56,2% ont dit que l'obtention de renseignements dans leur propre langue était plus importante que le prix. Un sondage de Gallup (The Gallup Organization, 2018) indique des préférences semblables.

Au cours des dernières années, Internet a joué un rôle majeur dans l'abolition des barrières linguistiques. Les capacités de la technologie ne sont plus limitées à la traduction de textes. L'existence de logiciels d'interprétation en temps réel (comme Skype Translator, qui interprète

presque en temps réel les appels en ligne) réduit l'importance des barrières linguistiques. Cela ouvre des possibilités commerciales, en particulier pour les petites entreprises qui ont généralement moins de compétences linguistiques. Dans une enquête menée en 2017 par Eurostat, il a été demandé aux entreprises si le manque de connaissances des langues étrangères était un obstacle aux ventes en ligne. Parmi les moyennes et grandes entreprises, 5% de celles qui réalisent des ventes en ligne vers d'autres pays de l'UE et 11% de celles qui vendent en ligne en dehors de l'Union européenne ont répondu par l'affirmative. Parmi les petites entreprises, le pourcentage était plus élevé, atteignant 6% et 14%, respectivement.

Internet a aussi facilité la suppression des barrières linguistiques et des obstacles à la communication par le biais des plates-formes de commerce électronique, qui réduisent l'importance de la langue de deux manières. Premièrement, elles nécessitent moins d'interactions directes entre les acheteurs et les vendeurs, ce qui rend la traduction superflue. Deuxièmement, elles permettent aux clients de chercher des produits dans leur propre langue, quel que soit l'endroit où se trouve le vendeur. Des études empiriques corroborent cet effet. Une étude de Brynolfsson *et al.* (2018b) a conclu que l'introduction sur eBay d'un système de traduction automatique a entraîné une augmentation des exportations de 17,5%.

(iv) Les plates-formes de commerce électronique et les services bancaires mobiles facilitent les paiements transfrontières

Les plates-formes de commerce électronique ont développé leurs propres systèmes de paiement pour les transactions électroniques transfrontières. Ces systèmes de paiement facilitent l'échange des biens et de services sur les plates-formes. Celles-ci contournent ainsi l'infrastructure bancaire, ce qui permet de réduire les délais et de supprimer les frais de traitement. Cela signifie aussi que l'efficacité des transactions internationales est presque identique à celle des transactions intérieures. La plate-forme chinoise Alipay, et les plates-formes américaines Amazon Pay et PayPal sont quelques exemples de systèmes de paiement qui sont ou ont été affiliés à des géants du commerce électronique.

Les sociétés de services bancaires mobiles se concentrent sur les paiements transfrontières, en particulier dans certains pays africains, où l'accès aux services bancaires traditionnels est limité et où les opérateurs de transfert d'argent ordinaires perçoivent des commissions élevées. En mars 2015, le principal opérateur de téléphonie mobile du Kenya

s'est associé à son homologue tanzanien pour lancer un système de transfert d'argent transfrontières, qui permet aux clients d'envoyer et de recevoir de l'argent au même tarif que pour l'envoi local d'argent. Si ces services sont essentiels pour les envois de fonds, ils facilitent aussi les transactions commerciales ; la valeur des paiements mobiles a représenté 47% du produit intérieur brut du Kenya en 2017 (Banque centrale du Kenya, 2017).

(v) La chaîne de blocs pourrait réduire davantage le coût des services financiers transfrontières

Un nombre croissant de start-up utilisent la technologie des registres distribués pour réduire davantage le coût des paiements transfrontières, en particulier les frais de transaction, les frais de change et les coûts liés à la correspondance bancaire. Une start-up américaine, Circle (<https://www.circle.com>), fournit des services de paiement transfrontières basés sur la chaîne de blocs sans frais ni majoration de change. Cette entreprise, qui a débuté aux États-Unis avant de s'établir en Europe, est récemment entrée sur le marché chinois dans le but de connecter les consommateurs chinois au reste du monde. Une autre entreprise américaine, Ripple (<https://ripple.com>), a pour ambition de contourner le modèle de correspondance bancaire au moyen de sa plate-forme de registres distribués. Elle donne aux banques la possibilité de convertir directement des fonds dans différentes devises en quelques secondes, et pratiquement sans frais, sans recourir à une banque correspondante. L'entreprise a des licences avec plus de 100 banques et établissements financiers, mais il semble que le nombre de grandes opérations a été limité jusqu'ici. Les banques sont encore en train de tester le système.

De nombreuses start-up, dont beaucoup se trouvent dans des pays en développement, proposent aussi d'effectuer des paiements mondiaux en cryptomonnaie. La baisse du coût des paiements transfrontières grâce à ces applications dépend de la cryptomonnaie utilisée, car les frais de transaction moyens peuvent aller de 0 à plus de 7 dollars EU (Ohnesorge, 2018), sans parler du fait que la plupart des cryptomonnaies sont très volatiles. En outre, un inconvénient des paiements transfrontières en cryptomonnaie est qu'il faut une connexion Internet, alors que les systèmes de paiement mobile nécessitent seulement un téléphone mobile, ce qui est une considération importante dans les pays en développement.

Hormis la multitude de start-up qui explorent la manière dont la technologie de la chaîne de blocs peut réduire le coût des services financiers, y compris

des paiements transfrontières, divers établissements financiers bien établis analysent comment la technologie des registres distribués peut simplifier les paiements pour le commerce international. Plusieurs consortiums ont été créés, dont le plus connu est R3 (<https://www.r3.com>). Ce consortium, qui a été créé en 2015 avec 9 sociétés financières et qui compte maintenant plus de 100 membres (banques, compagnies d'assurance, établissements financiers, organismes de réglementation, associations professionnelles et entreprises de technologie), a annoncé en octobre 2017 qu'il lançait une plate-forme de paiements transfrontières. Cette plate-forme vise à assurer l'exécution plus rapide et plus efficace des transactions de paiement transfrontières. Plusieurs sociétés multinationales de services financiers lancent aussi ou dirigent leurs propres plates-formes de paiement transfrontières utilisant la chaîne de blocs.

Outre les initiatives visant à numériser les paiements pour le commerce international, la technologie des registres distribués (c'est-à-dire la chaîne de blocs) pourrait ouvrir de nouvelles perspectives concernant la numérisation du financement du commerce. Le financement du commerce consiste en une opération de crédit ou de garantie, impliquant des paiements différés. Les expériences dans ce domaine visent à numériser le mouvement des documents et des éléments nécessaires pour l'exécution de l'opération de crédit et de garantie et à relier numériquement les intermédiaires financiers, les exportateurs, les importateurs et les

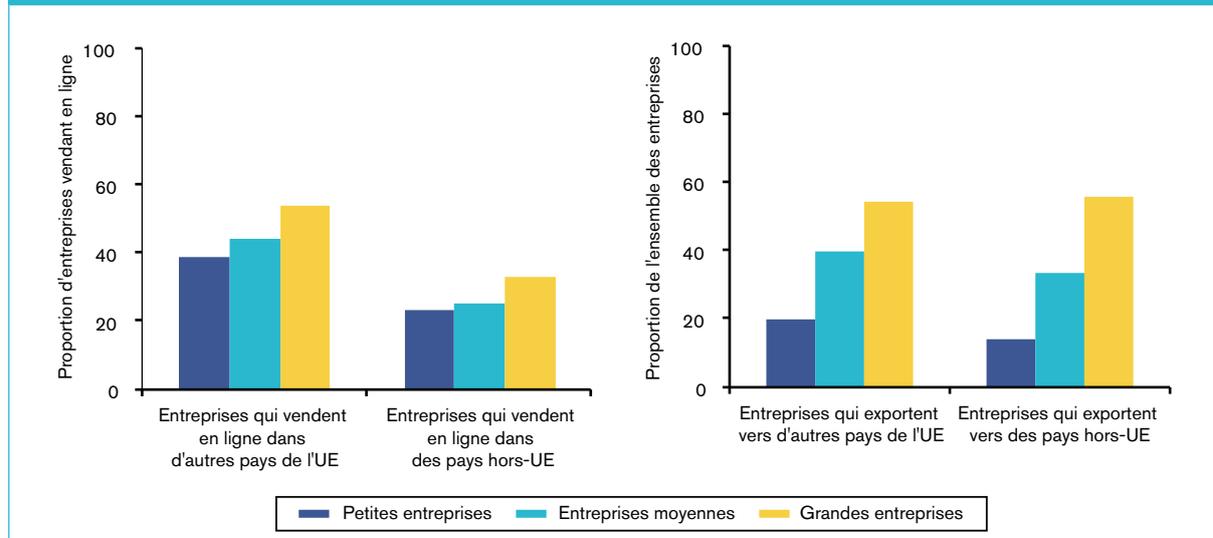
marchandises (qui servent de nantissement dans de nombreux cas) (voir l'encadré C.2).

(vi) Possibilités et défis

Les nouvelles technologies et les plates-formes en ligne permettent de réduire les coûts liés à la recherche de partenaires commerciaux et à l'obtention d'informations pertinentes sur les marchés. Elles fournissent aussi des mécanismes comme le retour d'information et les garanties qui renforcent la confiance des consommateurs dans les vendeurs en ligne, répondant ainsi aux problèmes d'exécution des contrats liés à différentes institutions juridiques. La figure C.2 montre que les coûts d'information et de transaction suivent de près les coûts de transport par leur importance pour le commerce des marchandises, et constituent le principal obstacle au commerce des services.

Les services proposés par les plates-formes en ligne facilitent la participation directe des MPME aux activités d'exportation. Par exemple, Lendle *et al.* (2013) ont démontré qu'aux États-Unis, 85% des vendeurs d'eBay étaient des exportateurs de marchandises, tandis que seulement 18% des entreprises manufacturières exportaient. Ce point est illustré par la figure C.6 qui montre que la disparité entre les petites et les grandes entreprises européennes en termes de participation aux exportations est beaucoup moins marquée dans

Figure C.6 : Part des exportateurs parmi les entreprises européennes qui vendent en ligne et dans l'ensemble des entreprises européennes, 2015 (%)



Source : Eurostat.

Notes : On ne dispose pas de données sur les ventes en ligne pour les entreprises ayant moins de 10 employés. Les petites entreprises sont donc définies comme celles qui ont 10 à 50 employés. Les entreprises moyennes sont celles qui ont 50 à 250 employés et les grandes entreprises celles qui ont plus de 250 employés. Les entreprises de commerce électronique sont celles qui ont reçu au moins une commande en ligne pendant l'année considérée. La part du total des entreprises exportatrices concerne uniquement les exportations de marchandises.

Encadré C.2 : Les chaînes de blocs et le financement du commerce

Le financement et le crédit extérieur sont plus importants pour les entreprises qui vendent à l'international que pour les vendeurs sur le marché intérieur. Cela est dû aux coûts fixes et variables élevés des ventes à l'étranger, et au fait que les transactions internationales sont plus complexes et plus difficiles à exécuter, ce qui rend nécessaire une assurance-crédit (OMC, 2016b).

Actuellement, les banques investissent beaucoup dans la technologie des registres distribués en vue de numériser les transactions financières relatives au commerce, en particulier les lettres de crédit et le financement des chaînes d'approvisionnement. Pour de ce dernier, l'objectif est de numériser les nombreux effets à recevoir et à payer entre acheteurs et fournisseurs dans le cadre des relations de la chaîne d'approvisionnement. L'utilisation de la technologie de la chaîne de blocs pourrait élargir la portée potentielle du financement des chaînes d'approvisionnement en rendant plus facile et moins risqué le traitement des paiements entre des entreprises qui n'ont pas de relation préétablie. Certaines start-up proposent déjà des solutions de paiement entre entreprises 24/7 en temps réel, basées sur la chaîne de blocs, qui évitent de recourir à des lettres de crédit.

En ce qui concerne les lettres de crédit, l'objectif est d'améliorer la sécurité des transactions faisant intervenir plusieurs acteurs (par exemple un importateur, un exportateur et leurs banques respectives) et nécessitant de nombreux documents (par exemple documents douaniers et connaissements). Actuellement, l'émission, la vérification et l'endossement des lettres de crédit nécessitent encore beaucoup de travail et de papier, employant un grand nombre de personnes dans le secteur du financement du commerce. L'une des principales banques spécialisées dans les transactions commerciales mondiales examine chaque année jusqu'à 100 millions de documents commerciaux nécessaires pour valider les lettres de crédit. Au cours des dernières décennies, des consortiums de banques ont investi massivement dans des projets informatiques visant à établir des plates-formes pour numériser les paiements et l'information, mais jusqu'à récemment, peu d'efforts ont été faits pour numériser les transactions elles-mêmes.

La technologie des registres distribués, qui permet le transfert sécurisé d'actifs, tout en améliorant la traçabilité et la rapidité potentielle des transactions, semble offrir de nouvelles possibilités à cet égard et elle suscite beaucoup d'espoir dans un secteur impatient de réduire les coûts de traitement et d'améliorer la fonctionnalité et la sécurité des transactions financières et des paiements relatifs au commerce. Étant donné l'importance des flux de financement du commerce, des projets conceptuels utilisant la technologie de la chaîne de blocs sont élaborés et testés pour tous les aspects des transactions existantes. Certains d'entre eux donnent des résultats prometteurs en termes d'efficacité accrue et de réduction des coûts.

Des expériences et des projets conceptuels sont en cours depuis plusieurs années, mais on se demande encore si cette technologie est la plus appropriée pour les transactions relatives au financement du commerce. Actuellement, si les documents sont conformes aux règles de la Chambre de commerce internationale (ICC) (qui établit actuellement les règles juridiques et professionnelles pour la normalisation internationale des lettres de crédit et des autres instruments relatifs au financement du commerce) – une lettre de crédit conférant le statut juridique de débiteur est émise automatiquement, la Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication (SWIFT) étant le canal de paiement. En revanche, avec la technologie des chaînes de blocs, il subsiste une grande incertitude quant aux normes professionnelles et juridiques qui s'appliquent aux transactions de financement du commerce, par exemple sur le point de savoir qui est responsable du transfert des données et du paiement, et en quel point, quand le statut de débiteur est-il confirmé ; et quelle est l'autorité de recours. L'assurance de l'interopérabilité des diverses plates-formes de chaînes de blocs est un autre défi. En effet, en raison de la prolifération des projets de chaînes de blocs au cours des dernières années, il existe de nombreuses plates-formes qui ne sont pas compatibles et qui appliquent des normes différentes. L'ICC a récemment créé un groupe de travail pour étudier le « problème des îlots numériques ».

Enfin, pour que la chaîne de blocs permette la numérisation du financement du commerce, il faudrait que les problèmes réglementaires actuels soient effectivement réglés et que les avantages de l'utilisation de cette technologie l'emportent sur le coût de l'abandon des systèmes existants, qui consistent simplement en l'envoi de versions numériques des documents. Le système actuel est sans doute coûteux, papévore et contraignant, mais il est efficace en termes de protection juridique. La question reste ouverte

le cas des ventes en ligne. Enfin, l'importance des plates-formes en ligne pour les petites entreprises est illustrée par la figure C.7, qui montre que, parmi les entreprises qui vendent en ligne, l'utilisation de places de marchés électroniques diminue avec la taille, tandis que l'utilisation de sites Web ou d'applications propres augmente avec la taille. Bon nombre des services offerts par les plates-formes en ligne sont traditionnellement fournis par de grands grossistes et de grands détaillants, qui jouent le rôle d'intermédiaires à l'exportation et qui facilitent les exportations indirectes pour les petites entreprises. Néanmoins, avec le développement des plates-formes en ligne, même les petites entreprises peuvent participer directement au commerce international.

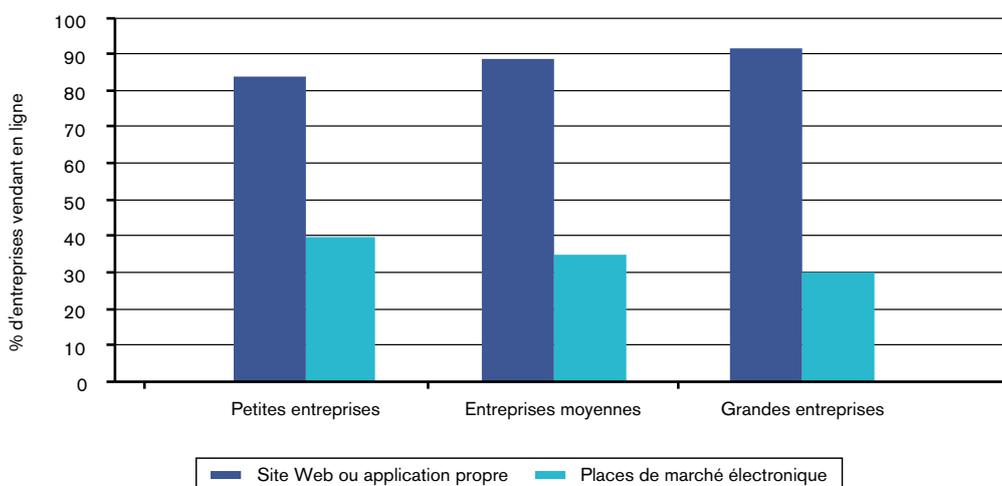
La baisse des coûts d'information et de transaction a un potentiel particulièrement important pour les entreprises des pays en développement, pour lesquelles ces coûts sont généralement plus élevés. Des procédures de vérification et des garanties plus simples donnent aussi aux entreprises agricoles la possibilité d'entrer et d'avancer dans les chaînes d'approvisionnement mondiales (OMC, 2016b). Les nouvelles technologies qui permettent l'échange électronique de renseignements, notamment sur les prescriptions en matière de sécurité sanitaire des produits alimentaires, permettent aux producteurs de se connecter à de nouveaux marchés à haute valeur. Il est établi aussi que, en simplifiant l'accès à l'information et en limitant la nécessité d'interactions

personnelles, le commerce numérique facilite la participation accrue des femmes au commerce (voir l'encadré C.3).

L'essor du commerce électronique peut apporter des avantages considérables aux petits producteurs agricoles et aux consommateurs vivant dans des régions éloignées. Une étude de Couture *et al.* (2018) montre que l'accès au commerce électronique fait baisser les prix et élargit la variété des produits offerts aux consommateurs dans les régions rurales de Chine. En outre, il peut accroître les possibilités commerciales pour les vendeurs locaux, en particulier dans les communautés rurales. Le commerce électronique permet aux petits producteurs agricoles d'avoir un accès direct à un plus grand nombre de consommateurs et il rend les prix plus rémunérateurs en supprimant les coûts intermédiaires. Il est cependant nécessaire d'avoir une formation commerciale, un accès au crédit, des promotions en ligne ciblées et des réseaux de distribution efficaces pour bénéficier de ces gains économiques. Cette étude porte surtout sur l'essor du commerce électronique intérieur, mais ses conclusions sont valables aussi pour le commerce électronique transfrontières.

Les innovations dans les systèmes de paiement transfrontières ont aussi eu le plus d'effets dans les pays en développement et pour les MPME. Des plates-formes de commerce électronique permettant

Figure C.7 : Part des entreprises européennes vendant en ligne qui utilisent des places de marché électronique plutôt que leur propre site Web ou application, 2015 (%)



Source : Eurostat.

Notes : Les entreprises qui vendent en ligne sont celles qui vendent leurs produits par le biais de leur propre site Web ou application, ou via une place de marché électronique. On ne dispose pas de données sur les ventes en ligne des entreprises ayant moins de 10 employés. Les petites entreprises sont donc définies comme celles qui ont 10 à 49 employés, les entreprises moyennes sont celles qui ont 50 à 249 employés et les grandes entreprises celles qui ont plus de 250 employés.

Encadré C.3 : Comment les technologies numériques contribuent à l'autonomisation des femmes

Les plates-formes de commerce électronique et de travail en ligne et les paiements en ligne favorisent tout particulièrement la participation des femmes au commerce. Étant donné que les contraintes de temps et de mobilité sont souvent plus grandes pour les femmes, en particulier celles qui ont des enfants, les innovations technologiques comme le commerce électronique peuvent avoir une grande incidence sur le travail des femmes. Le commerce électronique permet aux femmes d'avoir une activité commerciale tout en s'acquittant de leurs obligations domestiques, en s'adressant à un marché beaucoup plus vaste qu'elles ne pourraient le faire hors ligne.

En outre, les solutions numériques réduisent les coûts de recherche entre acheteurs et vendeurs, et évitent les interactions directes, ce qui permet à un plus grand nombre de femmes de participer au réseau commercial traditionnellement dominé par les hommes. Par conséquent, les plates-formes numériques aident les femmes à travailler et à créer des entreprises dans les cultures où l'on considère qu'elles doivent rester à la maison et où elles n'ont pas accès aux réseaux professionnels et aux ressources dont disposent les hommes (Banque mondiale, 2016).

Certaines données empiriques donnent à penser que les femmes bénéficient plus du commerce numérique que les hommes. Par exemple, une enquête menée en 2015 auprès des exportateurs des îles du Pacifique a montré que les entreprises actives en ligne ont à leur tête une plus forte proportion de femmes de moins de 45 ans (DiCaprio et Suominen, 2015). Une enquête réalisée par Etsy, une plate-forme en ligne de commerce créatif, indique que 86% des vendeurs Etsy au Royaume-Uni sont des femmes (Etsy UK, 2017). Une enquête du Centre du commerce international (ITC) montre aussi que la part des entreprises détenues par des femmes double lorsque l'on passe du commerce traditionnel hors ligne au commerce électronique transfrontières. En Afrique, on a constaté que, parmi les entreprises qui font exclusivement du commerce en ligne, trois sur quatre appartiennent à des femmes (ITC, 2017).

Outre le commerce électronique, les paiements numériques peuvent répondre aux préférences des femmes d'une manière nouvelle et différente, par rapport aux services financiers traditionnels. Au Niger, les données sur le programme de transferts sociaux en espèces montrent que la plus grande confidentialité et le meilleur contrôle des transferts mobiles, par rapport aux transferts manuels d'espèces, donnent aux femmes un plus grand pouvoir de décision au sein du ménage (Aker *et al.*, 2016). Les plates-formes de financement participatif permettent aux femmes d'accéder au financement du commerce. En Chine, les principaux secteurs financés par des prêts à la consommation entre particuliers (P2P) sont les secteurs du commerce de gros et de détail, et 35% des bénéficiaires des prêts sont des femmes (Cambridge Centre for Alternative Finance et The Australian Centre for Financial Studies, 2017).

L'OMC et ses divers partenaires s'efforcent de promouvoir l'égalité hommes-femmes au moyen de programmes d'aide au développement. Par exemple, grâce à un projet financé par le Fonds pour l'application des normes et le développement du commerce (STDF), les améliorations apportées à la gestion des parasites dans le secteur de la floriculture en Ouganda ont permis d'augmenter les revenus de la majorité des femmes qui dépendent des exportations de fleurs. Par ailleurs, l'ITC a lancé l'initiative « SheTrades », qui vise à connecter aux marchés 1 million de femmes entrepreneurs d'ici à 2020. Grâce à l'application SheTrades, les femmes entrepreneurs peuvent partager des renseignements sur leurs entreprises, améliorer leur visibilité, élargir leurs réseaux, se connecter et faire du commerce à l'international.

des transactions sûres jusqu'aux projets ambitieux visant à contourner les systèmes de paiement traditionnels, ces innovations réduisent les coûts de transaction du commerce transfrontières, qui sont beaucoup plus importants pour les MPME, en raison de leur petite échelle, que pour les grandes entreprises surtout dans les pays en développement où l'accès aux services bancaires et financiers traditionnels est très limité.

L'accès au financement est un grave problème pour les MPME : plus de la moitié de leurs demandes de financement du commerce sont rejetées, contre 7% seulement dans le cas des multinationales (OMC, 2016a). Une étude de la Commission du commerce international des États-Unis (USITC) montre que pour 32% des MPME américaines du secteur manufacturier, l'obtention d'un financement est un obstacle majeur au commerce. Les solutions innovantes pour l'obtention de crédits commerciaux

sont donc très importantes pour que les MPME participent au commerce international et pour leur permettre de tirer parti de toutes les possibilités évoquées précédemment dans ce chapitre.

Si les nouvelles technologies et les mégadonnées donnent aux entreprises de nombreuses possibilités d'organiser leur production et d'atteindre les consommateurs de manière plus efficace, il y a aussi des défis à relever.

Les coûts du commerce international ne s'appliquent pas à une part croissante de transactions transfrontières, à l'exception des coûts liés à la réglementation. Ces transactions concernent les services utilisant Internet comme les services de recherche sur le Web ou de communication, les services d'intermédiation numérique comme les services de distribution, les services relatifs aux voyages ou les transactions entre particuliers (P2P). Les mesures qui entravent les flux de données transfrontières peuvent donc freiner l'essor du commerce numérique. Ces mesures comprennent, par exemple, les exigences de localisation des données et des serveurs, les restrictions visant les méthodes de paiement, ou l'obligation de donner accès à un code source commercial ou à des clés de cryptage pour pouvoir entrer sur un marché (Ciuriak et Ptashkina, 2018a ; Parlement européen, 2017).

D'après certaines estimations, la technologie de la chaîne de blocs pourrait réduire les coûts d'infrastructure des banques attribuables aux paiements transfrontières, au négoce des valeurs mobilières et au respect de la réglementation de 15 à 20 milliards de dollars EU par an d'ici à 2022 (Santander *et al.*, 2015). Néanmoins, pour qu'il y ait des alternatives valables au système de correspondance bancaire existant, les applications de la chaîne de blocs pour les paiements transfrontières devront connecter toutes les monnaies et tous les établissements financiers du monde – « un projet colossal », comme le dit McKinsey dans une étude de 2016 (McKinsey Global Institute, 2016). Les incertitudes réglementaires, y compris les questions de responsabilité et le manque d'interopérabilité des plates-formes existantes, restent des problèmes qui empêchent le déploiement généralisé de la technologie. Tant que ces problèmes ne seront pas résolus, les principaux acteurs, qui apportent une sécurité juridique à un marché immense de 2 000 milliards de dollars EU par an, ne s'engageront pas (Manders, 2017). Bien que la technologie promette de réduire divers coûts liés aux paiements transfrontières, son effet disruptif ne se fera sentir que lorsque ces défis auront été relevés.

D'autres services, comme les services de logistique et de transport, déterminent aussi en grande partie l'incidence des technologies numériques sur le commerce des marchandises. Par exemple, les plates-formes numériques ne peuvent guère contribuer à la réduction des coûts du commerce sur les marchés où les services de transport ne sont pas compétitifs et où, de ce fait, les coûts de transport sont exorbitants. Des marchés des services efficaces sont donc indispensables pour pouvoir bénéficier des avantages des technologies numériques.

Enfin, le commerce électronique a entraîné une croissance rapide des envois transfrontières de petits colis de faible valeur, qui auraient été expédiés auparavant dans de grandes cargaisons destinées à des centres de distribution locaux (CNUCED, 2017a). Cela pourrait surcharger les douanes et causer des retards aux frontières (voir l'encadré C.4).

(d) La politique commerciale et les obstacles réglementaires

Le respect de la réglementation est l'un des principaux obstacles liés à la politique commerciale. Les consommateurs demandent des garanties concernant le respect des normes de base, et les autorités commerciales doivent veiller à ce que les produits importés soient conformes à la réglementation nationale, ce qui crée de nombreux obstacles non tarifaires au commerce. Si l'harmonisation des règlements et la reconnaissance mutuelle allègent le fardeau de la mise en conformité, les obstacles non tarifaires restent importants. En outre, de nouvelles préoccupations réglementaires concernant les normes environnementales, chimiques et de biosécurité sont prises en compte dans les accords commerciaux internationaux et se traduisent par des prescriptions supplémentaires aux frontières. Le fardeau de la mise en conformité est multiplié dans les chaînes d'approvisionnement complexes, et selon une enquête de la Commission du commerce international des États-Unis (USITC), il pèse à la fois sur les grandes entreprises et sur les MPME (USITC, 2010). Les prescriptions en matière de certification, d'essai et d'inspection des produits font l'objet de plus de la moitié des plaintes des entreprises relatives aux mesures OTC ou SPS dans les pays en développement (OMC, 2012c).

L'adoption des systèmes de guichet unique électronique et des certificats électroniques peut considérablement réduire le temps et les ressources nécessaires pour respecter la réglementation. Par exemple, les technologies numériques peuvent jouer un rôle essentiel pour assurer la conformité des produits aux normes SPS applicables sur les marchés d'exportation tout au long des CVM.

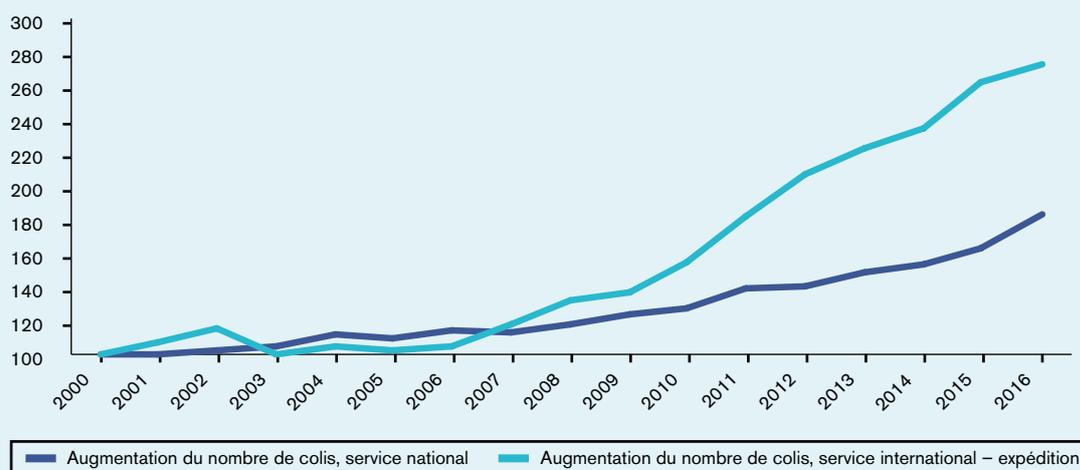
Encadré C.4 : Le commerce électronique et la multiplication des petits colis

En 2015, le commerce électronique transfrontières a représenté 15% des ventes en ligne de marchandises. Il devrait croître près de deux fois plus vite que le commerce électronique intérieur soit 25% par an jusqu'en 2020, année où il représentera 22% des ventes en ligne de marchandises au niveau mondial (DHL, 2016b). La figure C.8 montre l'augmentation du nombre de colis envoyés par la poste aux niveaux national et international depuis 2000, les envois internationaux ayant presque triplé pendant cette période.

Cette tendance s'explique par l'augmentation du nombre de transactions en ligne B2C transfrontières alors que leur valeur moyenne diminue, ce qui génère des flux internationaux plus fréquents de colis plus petits et moins coûteux. Par exemple, en 2017, 84% des marchandises achetées en ligne à l'étranger pesaient 2 kg ou moins, et près de 60% coûtaient moins de 50 euros (IPC, 2018) ; en outre, 46% des personnes ayant répondu à l'enquête de l'IPC de 2017 sur les acheteurs en ligne transfrontières ont indiqué que les colis reçus étaient assez petits pour entrer dans leur boîte aux lettres.

Le commerce électronique peut certes créer de nouvelles possibilités d'exportation pour les détaillants, et il peut assurer aux consommateurs un plus large choix et des prix plus bas, mais il soulève aussi un certain nombre de problèmes. La grande quantité de colis expédiés représente un grand défi pour les autorités douanières. Les systèmes de dédouanement sont conçus pour traiter des envois importants en conteneurs, et non des petits colis. Il est certain que l'augmentation du volume des expéditions va mettre à rude épreuve les autorités douanières du monde entier, en particulier celles qui ont une infrastructure obsolète. En Ouzbékistan et dans d'autres États d'Asie centrale qui utilisent encore des systèmes papier, les agents des douanes se sont plaints de l'afflux de petits colis (OCDE et OMC, 2017). Les retards aux frontières nuiraient non seulement aux entreprises de commerce électronique, dont le modèle économique repose sur la rapidité des livraisons, mais aussi aux flux traditionnels de marchandises, car les ressources des douanes seraient insuffisantes.

Tous les autres organismes présents aux frontières ont aussi du mal à faire face à ce phénomène relativement nouveau, notamment ceux qui s'occupent des mesures sanitaires et phytosanitaires (SPS), des obstacles techniques au commerce (OTC), des biens culturels, des produits contrefaits, du trafic de drogues, des armes, du blanchiment d'argent, des espèces menacées d'extinction ou des espèces exotiques envahissantes. Par exemple, la Drug Enforcement Administration (DEA) des États-Unis a averti que de nombreuses drogues illicites achetées en ligne et livrées par les services postaux entrent dans le pays (DEA, 2016).

Figure C.8 : Augmentation du nombre de colis envoyés par la poste, 2000-2016 (%)

Source : Données de l'Union postale universelle.

Note : Chaque série représente un indice du nombre de colis qui est normalisé à 100 pour l'année 2000.

Encadré C.4 : Le commerce électronique et la multiplication des petits colis (suite)

Des solutions ont commencé à être proposées par le secteur privé et par les gouvernements. L'initiative la plus ambitieuse est celle d'Alibaba, qui prévoit de créer un réseau de zones de libre-échange numérique, qui permettrait aux MPME de vendre leurs produits dans d'autres pays sans droits d'importation et avec un dédouanement rapide. La première zone de ce type a été créée en Malaisie en 2017, pour faciliter le commerce électronique entre ce pays et la Chine. Les entreprises de logistique essaient aussi d'améliorer l'efficacité des expéditions transfrontières. Une autre approche, suivie par les plus grandes entreprises, consiste à établir ce qu'elles appellent des « centres de traitement ». En utilisant l'analyse des mégadonnées, elles peuvent anticiper la demande pour des produits particuliers, exporter ces produits de manière traditionnelle, les importer et les garder dans des entrepôts dans le pays importateur. De cette façon, elles peuvent expédier très rapidement les produits directement aux consommateurs. Une variante récente de ce modèle consiste à garder les produits dans des zones franches et à importer de petites cargaisons après chaque commande.

Les gouvernements s'efforcent de créer des systèmes de dédouanement parallèles en détournant les nombreux petits colis vers d'autres canaux. Une mesure prise pour faire face au problème consiste à augmenter la valeur *de minimis*, c'est-à-dire la valeur en-dessous de laquelle les envois peuvent bénéficier de la franchise de droits et d'un dédouanement simplifié. La réduction de la charge de travail des autorités est le principal argument pour augmenter les niveaux *de minimis*, mais cette solution pose aussi des problèmes, comme la nécessité accrue de gérer le trafic illicite. Le partage de renseignements entre les autorités douanières et les entreprises de commerce électronique pour mieux évaluer les risques est fondamental pour éviter que des produits dangereux ou contrefaits bénéficient d'un seuil *de minimis* plus élevé. Une enquête de l'Organisation mondiale des douanes (OMD) a révélé que 53% des pays qui ont répondu avaient déjà mis en place un tel système. On ne sait pas encore quelles sont les meilleures solutions, et cela fait l'objet d'efforts et de discussions continus, par exemple dans le cadre du Groupe de travail de l'OMD sur le commerce électronique.

D'après l'expérience préliminaire concernant les certificats SPS électroniques, l'adoption de systèmes de certification automatisés peut réduire le temps consacré au traitement et à la transmission des données, ce qui entraîne une augmentation des exportations et des économies pour le secteur privé (voir l'encadré C.5). La certification électronique peut aussi réduire le nombre de certificats frauduleux et accroître la transparence, renforçant la confiance entre les partenaires commerciaux et les connexions le long de la chaîne de valeur.

2. Évolution de la structure des échanges

Les technologies numériques ont transformé les activités économiques aux niveaux national et international, réduisant les coûts du commerce et modifiant la structure des échanges. L'analyse ci-après fait ressortir la dimension commerciale de ces technologies, mettant en lumière l'évolution de la composition des échanges de marchandises et de services, les déterminants de l'avantage comparatif et les effets des technologies numériques sur l'organisation internationale de la production dans les CVM.

(a) Évolution de la composition sectorielle des échanges : qu'est-ce qui va être échangé ?

L'adoption à grande échelle des technologies numériques modifie la composition des échanges

dans différentes catégories de biens et de services, tout en redéfinissant les droits de propriété intellectuelle (DPI) dans le commerce. Cette section analyse d'abord l'impact des technologies numériques sur le commerce des services, puis elle examine l'effet sur la composition des échanges de marchandises. Elle traite brièvement de la relation entre les DPI et le commerce. Dans les cas où les technologies numériques affectent à la fois le commerce des marchandises et le commerce des services, les effets sont examinés successivement.

(i) Importance croissante du commerce des services

Les secteurs de services sont au centre de la révolution technologique récente. D'une part, les progrès technologiques ont permis la fourniture transfrontières par voie numérique d'une gamme de services de plus en plus large. D'autre part, les services constituent l'infrastructure numérique en évolution rapide qui permet de fournir des services par voie électronique et d'acheter des biens et des services en ligne. Ces deux facettes des services, en tant que facilitateurs du commerce numérique et produits fournis au moyen des technologies numériques, ont des effets importants sur le commerce. Cette section montre comment les technologies numériques facilitent le commerce des services, en réduisant les coûts de communication et de transaction ou en rendant moins nécessaire la proximité spatiale.

Encadré C.5 : La certification électronique et la traçabilité électronique des produits agricoles

Les nouvelles technologies et les innovations ont transformé la production agricole et la gestion des risques SPS dans les chaînes d'approvisionnement.

Le partenariat mondial du Fonds pour l'application des normes et le développement du commerce (STDF) rassemble des experts du commerce, de la santé et de l'agriculture pour traiter les problèmes SPS et trouver ensemble des solutions pour encourager un commerce sûr, contribuant ainsi à la réalisation des Objectifs de développement durable à l'horizon 2030 des Nations Unies. Bon nombre de ces solutions s'appuient sur les nouvelles technologies et les outils numériques. Par exemple, au Nigéria, le STDF aide à développer un système numérique pour améliorer la surveillance des parasites, la certification des semences et la traçabilité. Au Guatemala, un projet du STDF a permis d'établir un système de traçabilité électronique pour la chaîne de valeur du miel. Dans la région Asie-Pacifique, les pays bénéficient d'un projet du STDF qui renforce les systèmes d'information pour la surveillance et le signalement des parasites en vue de faciliter les échanges.

D'autres travaux en cours du STDF visent à promouvoir l'utilisation de la certification SPS électronique afin de faciliter un commerce sûr et de réduire les coûts de transaction. Dans le cadre du projet ePhyto du STDF, un nouveau système est mis en place pour permettre l'échange électronique de certificats phytosanitaires au moyen d'un outil, ou « plate forme », d'échange harmonisé. Pour faciliter l'utilisation de ePhyto, les pays en développement bénéficieront d'un système générique disponible sur le marché. Après le lancement d'un nouveau système de certification phytosanitaire électronique au Kenya en 2011, plus de 892 000 certificats ePhyto ont été émis pendant les 5 premières années, ce qui a augmenté les recettes publiques de 75%. Le nouveau système a permis au Service d'inspection phytosanitaire du Kenya (KEPHIS) de fournir les services de manière plus efficace, et l'industrie a pu économiser du temps et établir une meilleure communication. La réputation du Kenya dans le domaine SPS s'est améliorée, et la confiance entre les partenaires commerciaux a été renforcée, de même que la confiance dans l'authenticité des certificats délivrés par le Kenya.

Un autre projet du STDF vise à évaluer l'utilisation de la certification électronique pour le commerce des animaux et des produits d'origine animale, pour déterminer comment les autorités vétérinaires des pays en développement peuvent en tirer parti. Les résultats initiaux montrent que le passage aux systèmes de certification automatisés réduit les délais de traitement et de transmission des données, ce qui entraîne une augmentation des exportations et des économies pour le secteur privé.

Ces expériences montrent que les technologies peuvent aider les pays en développement à accéder à des marchés régionaux et internationaux lucratifs, et peuvent contribuer à une croissance économique durable et à la réduction de la pauvreté, conformément aux objectifs du STDF. Elles offrent aussi de précieux enseignements sur les avantages de l'utilisation plus large des technologies numériques pour que davantage de pays en développement puissent en profiter. D'immenses bonds en avant ont été réalisés grâce à des solutions modernes, comme l'Internet des objets et la chaîne de blocs. Il subsiste cependant des préoccupations face au creusement des inégalités entre les pays en termes de connectivité, d'accès aux nouvelles technologies et de compétences pour l'application de ces technologies.

Contrairement à la production de biens physiques, la fourniture de services nécessitait souvent une communication directe intense entre le client et le fournisseur. En outre, certains services qui modifient la condition physique d'un objet ou d'une personne, comme les services de coiffure, exigeaient une proximité physique. Ce besoin de proximité spatiale, parfois qualifié de « conjonction du travailleur et du travail » (Baldwin, 2016), a empêché le commerce transfrontières de nombreux services.

De nombreux services sont fournis à travers des réseaux de communication. Comme les technologies numériques, comme la voix par Internet, le courrier électronique et les plates-formes en ligne, réduisent

sensiblement le coût des communications internationales, la fourniture de services à distance devient moins coûteuse, de sorte qu'il est beaucoup plus facile de fournir des services à l'étranger, ce qui permet aux pays de se spécialiser dans les secteurs où ils ont des avantages comparatifs.

De plus, les technologies numériques ont réduit le besoin de proximité physique en introduisant des innovations dans le processus de fourniture de services. L'Accord général sur le commerce des services (AGCS) de l'OMC définit le commerce des services comme englobant quatre modes de fourniture : le mode 1 – Fourniture transfrontières ; le mode 2 – Consommation à l'étranger ; le mode 3 –

Présence commerciale (c'est-à-dire IED) ; et le mode 4 – Présence de personnes physiques. L'adoption généralisée des technologies numériques a réduit les coûts du commerce des services et elle facilite la fourniture transfrontières de certains services (mode 1) plutôt que par la présence d'entités commerciales ou de personnes physiques (modes 3 et 4).

Enfin, les nouvelles évolutions dans le domaine de la robotique télécommandée ont ouvert de nouvelles voies au commerce des services, et cela pourrait continuer à se développer. Bien que cette technologie soit encore relativement coûteuse, des robots moins chers commandés via une connexion Internet pourraient avoir dans l'avenir des conséquences importantes pour le commerce international.

La réduction des coûts du commerce accroît le commerce de certains services

Le commerce des services, mesuré sur la base de la balance des paiements, représente actuellement 23% du commerce total des marchandises et des services, contre 18% en 1995.¹⁰ Cette forte croissance est due en grande partie à la révolution Internet. Des études montrent que l'augmentation de la pénétration et de l'utilisation d'Internet est associée à une augmentation du commerce des services, à l'importation et à l'exportation (Choi, 2010 ; Freund et Weinhold, 2002).

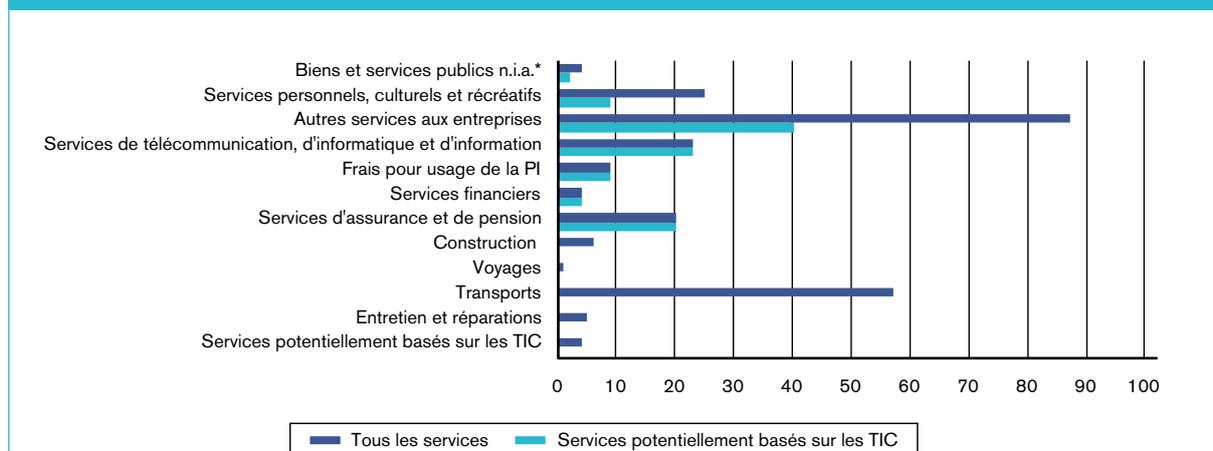
Quels sont les services qui peuvent être fournis par voie numérique ? Lanz *et al.* (2012) notent que la technologie numérique facilite tout particulièrement

le commerce transfrontières des services qui consistent en des tâches répétitives codifiables (par exemple la réalisation de calculs ou la vérification des fautes d'orthographe dans un document). Examinant le phénomène d'externalisation des fonctions de l'entreprise, Blinder et Krueger (2013) estiment que 25% des emplois exercés aux États-Unis en 2008 auraient pu l'être à l'étranger. Ils constatent que les emplois dans les secteurs de la finance, de l'assurance, des services d'information, et des services techniques et professionnels peuvent être exercés à distance.

Un rapport de la CNUCED établit une liste des services basés sur les TIC, qui sont répartis entre différents secteurs de services dans la figure C.9. Conformément à ce qui est observé depuis longtemps dans le commerce des services, les services qui peuvent être fournis à distance par les réseaux de TIC sont les télécommunications, la vente et la commercialisation, l'assurance et les pensions, les services financiers et les services liés à la propriété intellectuelle (PI). Bon nombre de ces secteurs ont d'ailleurs été des pionniers dans l'adoption des TIC au cours des dernières décennies.

Les progrès technologiques et la plus grande échangeabilité transfrontières ont entraîné des changements importants dans la composition du commerce des services. Les services dont les exportations augmentent le plus depuis 2005 sont les services basés sur les technologies numériques, comme les télécommunications, les services informatiques et d'information, les autres services aux

Figure C.9 : Estimation des services potentiellement basés sur les TIC par secteur (%)



Source : Figure 1 dans CNUCED (2015), tiré de Division de statistique de l'ONU, « Correspondence between the EBOPS 2010 and the Central Product Classification (CPC, version 2) – Detailed version ».

Note : Cette figure indique le nombre total de codes de la CPC 2.0 (Classification centrale de produits) et le nombre de codes correspondant aux services potentiellement basés sur les TIC, groupés par catégorie de services de l'EBOPS 2010.

* n.i.a. signifie « non inclus ailleurs ».

entreprises et les services financiers. La figure C.10 montre que le commerce dans ces secteurs augmente beaucoup plus vite que celui des services échangés par les moyens traditionnels tels que les voyages ou le transport. Cela n'est pas surprenant, car les services basés sur les technologies numériques ont beaucoup profité de l'efficacité accrue des réseaux numériques due aux progrès technologiques. La fourniture transfrontières de ces services ouvre de nouvelles possibilités et permet une diversification des exportations. La figure C.11 illustre l'évolution du commerce des services : depuis 2014, le commerce des services pouvant être basés sur les technologies numériques représente plus de la moitié du commerce total des services.

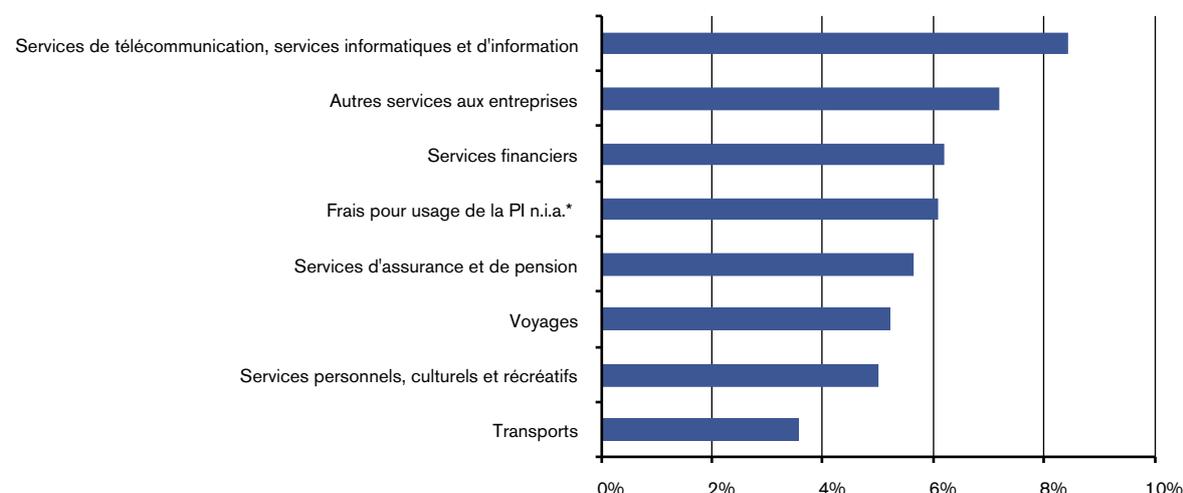
Outre qu'elles ont pour effet de réduire le coût des communications, les technologies numériques offrent de nouveaux moyens de fournir les services. Les services qui nécessitent plus qu'une simple communication en temps utile par Internet ou par téléphone sont désormais échangeables à travers les frontières grâce à des modèles d'entreprise innovants qui s'appuient sur ces technologies.

Le Service national de la santé du Royaume-Uni fournit une liste des services de santé mentale en ligne qui donne directement accès, par messagerie instantanée ou webcam, à des groupes de soutien avec animateur et à des services de conseil personnel auprès de thérapeutes professionnels (National Health Service (Royaume-Uni), 2018). Dans le domaine des

services juridiques, certains cabinets remplacent leurs bureaux en dur par des plates-formes en ligne auxquelles les clients privés peuvent se connecter via Internet. Rocket Lawyer est une plate-forme Internet qui fournit des documents juridiques gratuits et qui met en relation des avocats et des particuliers ou des petites entreprises afin de réduire les coûts et la complexité des recherches pour les clients qui ont besoin de conseils juridiques (The Guardian Labs, 2017). Grâce à la technologie, les clients peuvent choisir des avocats en fonction de leurs qualifications plutôt que de leur emplacement géographique.

Dans le secteur de l'éducation, la technologie numérique a permis de créer des classes virtuelles qui réduisent les contraintes géographiques et permettent de dispenser des cours en ligne ouverts à tous (MOOC) dans le monde entier au moyen de vidéos, de diapositives, de problèmes numériques et de forums en ligne. Class Central (2017), un catalogue en ligne de MOOC, compte 81 millions d'étudiants dans le monde. En comparaison, environ 20 millions d'étudiants du niveau tertiaire sont actuellement inscrits dans des établissements en dur dans l'Union européenne et aux États-Unis. Le premier MOOC ayant été dispensé en 2008, ce secteur est encore jeune et il continue d'évoluer. Mais l'élément international est déjà solide : 71% des étudiants qui suivent des cours sur les plates-formes de cours en ligne HarvardX et MITx d'Harvard et du MIT se trouvent à l'extérieur des États-Unis (Chuang et Ho, 2016).

Figure C.10 : Taux de croissance annuels moyens du commerce des différentes catégories de services (%)

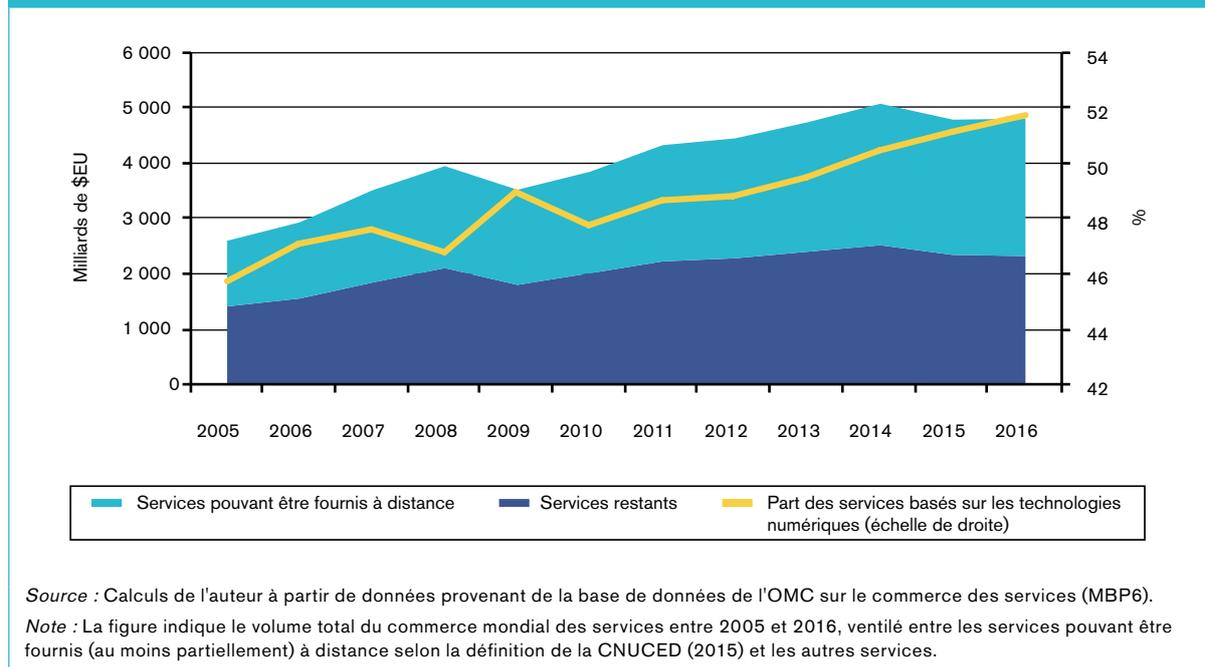


Source : Calculs de l'auteur à partir de données provenant de la base de données de l'OMC sur le commerce des services (MBP6) et CNUCED (2015).

Note : La figure indique les taux de croissance annuels composés des catégories de services entre 2005 et 2016.

* n.i.a. signifie « non inclus ailleurs ».

Figure C.11 : Valeurs et taux de croissance annuels moyens du commerce des différentes catégories de services



Pour les services moins courants, les plateformes de travail en ligne mettent en relation des fournisseurs de services indépendants et des clients dans le monde entier, ce qui rend rentable la fourniture numérique de services tels que la comptabilité, la programmation ou la rédaction, même pour des petits projets. Les données recueillies par le projet iLabour de l'Université d'Oxford révèlent que l'offre et la demande de ces services sont réparties différemment dans les pays à revenu élevé et dans les pays à faible revenu. La figure C.12 montre que la moitié des employeurs en ligne se trouvent aux États-Unis, tandis que 68% des offres de travail viennent de l'Inde, du Bangladesh ou du Pakistan, et que le commerce international des services numériques est en plein essor sur ces plateformes.

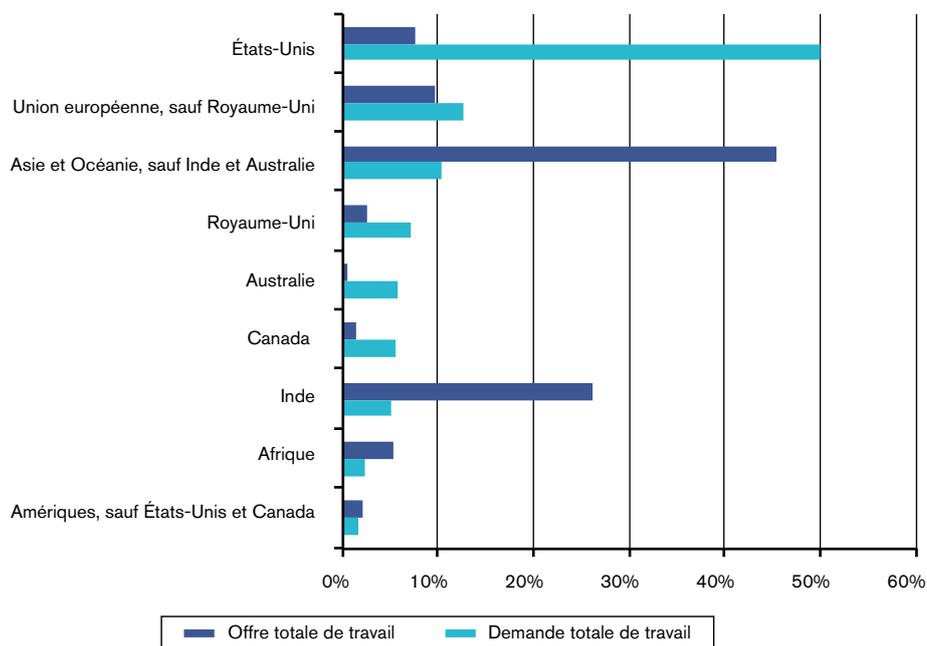
Toutefois, même si les technologies numériques réduisent certaines des contraintes pesant sur le commerce transfrontières des services, il subsiste des obstacles. Comme on l'a vu dans la section C.1, l'efficacité de la communication peut être limitée par les différences culturelles et sociales et par les barrières linguistiques entre les travailleurs ou les prestataires et les clients. En outre, les différences de fuseau horaire peuvent empêcher de communiquer en temps voulu, et la distance géographique rend difficile l'instauration de la confiance et d'un capital social entre les partenaires. Examinant les affichages de demandes et d'offres de travail sur oDesk, une plateforme de travail contractuel qui se développe rapidement, Agrawal

et al. (2016) constatent que les employeurs des pays développés préfèrent généralement faire appel à des travailleurs contractuels de pays développés. Toutefois, les plateformes en ligne s'efforcent aussi de surmonter l'obstacle de la confiance en donnant plus de renseignements, notamment sur le niveau d'éducation du travailleur contractuel, son expérience professionnelle, le lieu où il se trouve et ses antécédents professionnels. La même étude constate que les renseignements normalisés sur l'expérience professionnelle et l'évaluation des travailleurs profitent plus aux demandeurs d'emploi des pays moins développés qu'à ceux des pays développés. La technologie numérique peut donc réduire les asymétries d'information et les incertitudes, ce qui favorise le commerce.

Les technologies numériques créent de nouveaux modes de fourniture des services

Non seulement les technologies numériques facilitent le commerce des services traditionnels, mais encore elles créent de nouveaux modes de fourniture de services. Prenons, par exemple, la diffusion de musique en continu, qui est un service numérique. La figure C.13 montre comment la numérisation a complètement transformé le mode de consommation de musique enregistrée : alors que, pendant des années, la musique a été achetée sur des supports physiques, puis numériques, les recettes de la diffusion de musique en continu augmentent rapidement depuis 2014, et elles ont représenté plus du tiers des recettes

Figure C.12 : Offre et demande de services sur les plates-formes de travail en ligne



Source : Calculs des auteurs à partir de données provenant de l'Online Labour Index (Kässi et Lehdonvirta, 2016).

Notes : La figure indique la part des offres et des demandes de travail sur les six plus grandes plates-formes de travail en ligne anglophones pour la période du 16/06/2017 au 13/03/2018.

de l'industrie de la musique enregistrée en 2017 (voir aussi la section B et l'encadré B.2 pour une analyse détaillée de la façon dont la numérisation a transformé l'industrie musicale).

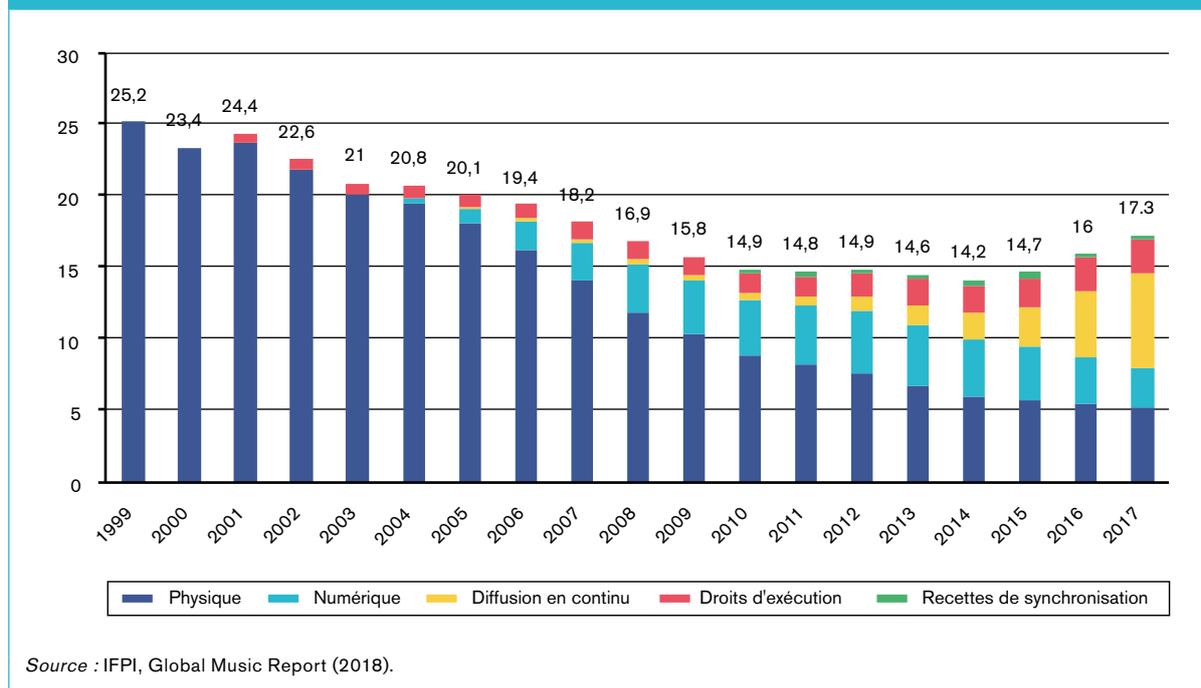
Ces chiffres montrent que l'industrie de la musique enregistrée est en train d'abandonner la vente d'enregistrements physiques ou numériques et s'appuie de plus en plus sur un modèle économique qui offre un service de diffusion en continu sur Internet. Comme la distance physique ne joue aucun rôle dans le coût de la fourniture des services de diffusion numérique en continu, on peut s'attendre à une concentration des fournisseurs et à une augmentation de la diffusion transfrontières. Cette évolution est emblématique de plusieurs secteurs qui voient leurs produits physiques remplacés par des téléchargements numériques, dont beaucoup sont fournis en tant que service.

Sur un autre registre, la technologie numérique permet de fournir des services entre particuliers (« P2P »), souvent appelés « économie de partage ». L'économie de partage est définie comme l'activité P2P consistant à acquérir, fournir ou vendre un accès à des produits et à des services, facilité par une plate-forme en ligne basée sur une communauté.

Les technologies numériques comme les applications mobiles (applis) ont réduit les obstacles à l'entrée dans l'économie de partage lorsqu'il s'agit de créer une marque et de se développer rapidement. La confiance, la commodité et l'esprit de communauté sont des facteurs qui favorisent l'adoption du modèle d'économie de partage. Une enquête montre que 19% de la population adulte des États-Unis a effectué une transaction dans l'économie de partage et que près de la moitié des adultes américains connaissent bien cette économie. Parmi les consommateurs qui l'ont essayé, 72% déclarent qu'ils pourraient fort bien être des consommateurs dans l'économie de partage dans les deux prochaines années (PwC, 2015a).

La mise en relation des fournisseurs de services privés et des consommateurs privés pour des transactions occasionnelles a souvent été entravée par des coûts de transaction élevés. Les plates-formes en ligne réduisent les coûts afférents à la recherche de partenaires commerciaux, à la communication avec ces partenaires et à l'établissement de relations de confiance avec eux. Cette évolution permet aux petits entrepreneurs et aux particuliers de louer de façon rentable des biens durables comme des voitures, des appartements ou des appareils électriques. Un effet particulier de l'économie de partage est qu'elle augmente la part des services échangés

Figure C.13 : Recettes mondiales de l'industrie de la musique enregistrée, 1999-2017 (milliards de \$EU)



tout en permettant de réduire les achats de biens durables. L'aspect essentiel est que, en permettant l'économie du partage, la numérisation et Internet créent de nouvelles possibilités pour le commerce transfrontières des services (voir l'encadré C.6).

De nouveaux changements révolutionnaires dans le secteur des services pourraient être déclenchés par les technologies appelées « téléprésence » et « télérobotique ». La téléprésence fait référence à la technologie qui donne à l'utilisateur l'impression d'être présent, ou qui fait penser qu'il est présent dans un endroit autre que celui où il se trouve physiquement ; la télérobotique est la technologie qui permet de contrôler des robots à distance. Ces deux technologies permettraient d'alléger les contraintes liées aux obstacles réglementaires au commerce des services et de réduire les coûts de déplacement des personnes qui entravent actuellement le commerce des services exigeant un contact direct, comme que le traitement psychologique ou la chirurgie.

Les principaux éléments de la télérobotique sont la console de commande utilisée par l'opérateur, le robot physique et une connexion Internet stable et rapide. L'Institut de technologie du Massachusetts développe actuellement un robot bipède appelé HERMES (Highly Efficient Robotic Mechanisms and Electromechanical System) qui peut être commandé à distance par un opérateur humain et qui sera capable d'accomplir des tâches manuelles de type humain (Chu, 2015). Ce robot est destiné à être utilisé là où les conditions de travail sont trop dangereuses pour

les humains, par exemple sur des lieux de catastrophe. Une fois qu'ils seront au point, les robots humanoïdes commandés à distance devraient pouvoir exécuter toute une série de tâches manuelles quotidiennes faisant partie des services, comme le jardinage ou la peinture, et même des tâches complexes comme la téléchirurgie (voir l'encadré C.7).

Alors que la télérobotique permet d'accomplir des tâches manuelles à distance, la téléprésence offre un nouveau moyen de communication numérique qui facilite et améliore la collaboration intellectuelle. Les systèmes d'audioconférence à haute résolution associés à des tableaux blancs numériques synchronisés peuvent accroître la productivité lors des réunions, tout en permettant la participation de personnes géographiquement éloignées. Les lunettes de réalité virtuelle, qui permettent de voir à 360 degrés des lieux distants, offrent aux spécialistes la possibilité d'inspecter à distance des installations de production dans d'autres pays. Et les robots de téléprésence – écrans sur roulettes télécommandés – permettent aux travailleurs d'être présents dans un bureau, d'assister à des réunions, de consulter des collaborateurs ou même de déjeuner avec eux, tout cela de façon virtuelle. Pour l'instant, ces technologies sont surtout utilisées par les travailleurs qui souhaitent se rendre dans leur bureau tout en travaillant chez eux. Mais, à mesure que les technologies de télétravail s'amélioreront, une présence virtuelle pourrait bientôt suffire pour une collaboration productive.

Encadré C.6 : Airbnb et l'économie de partage

Selon The Economist (2013b), Airbnb est un exemple typique d'« économie de partage ». Depuis son lancement en 2008, plus de 300 millions de voyageurs ont utilisé cette plate-forme en ligne. Airbnb offre actuellement 300 millions de types d'hébergement dans 65 000 villes et plus de 191 pays. Les consommateurs choisissent leur hébergement et paient en ligne, mais l'hébergement est fourni par des particuliers et non par des chaînes hôtelières.

Bien que ce modèle d'entreprise ne semble pas très différent de celui des chambres d'hôtes, la technologie a réduit les coûts de transaction, ce qui facilite le partage et le rend moins coûteux et donc possible à une échelle beaucoup plus large. Le grand changement est que les technologies numériques permettent de disposer de plus de données sur les personnes qui souhaitent louer quelque chose et sur les objets à louer (maisons, appartements, voitures, etc.). Cela permet de fractionner l'utilisation de ces biens et de les consommer comme services. Ainsi, les plates-formes comme Airbnb mettent en relation les propriétaires et les locataires ; les smartphones avec GPS permettent de voir où se trouve le bien à louer et de le comparer avec d'autres offres similaires ; les réseaux sociaux offrent un moyen de vérifier qui sont les propriétaires et les locataires et d'établir des relations de confiance ; et les systèmes de paiement en ligne facilitent le traitement des factures.

Le modèle de l'économie de partage est utilisé principalement pour des biens qu'il est coûteux d'acheter et qui appartiennent à des personnes qui ne les utilisent pas pleinement. Les exemples les plus évidents sont les logements et les voitures, mais il est également possible de louer des biens aussi variés que des espaces de camping, des champs ou des machines à laver, pratiquement n'importe où dans le monde. Selon Botsman et Rogers (2010), le marché de la consommation P2P représente à lui seul 26 milliards de dollars EU.

Cette « consommation collaborative » offre plusieurs avantages. Les propriétaires gagnent de l'argent avec leurs biens sous-utilisés. D'après Airbnb, à San Francisco les personnes qui louent leur logement pendant 58 nuits par an en moyenne, gagnent jusqu'à 9 300 dollars EU. Les locataires, quant à eux, paient moins que s'ils s'adressaient à un fournisseur traditionnel comme un hôtel. Il n'est pas étonnant que de nombreuses entreprises de partage aient survécu pendant la crise financière. Et il y a aussi des avantages environnementaux : par rapport aux hôtels, le partage de logements favorise l'utilisation efficace des ressources existantes, ce qui permet de réduire la consommation d'énergie et d'eau, les émissions de gaz à effet de serre et la production de déchets.¹¹

L'incertitude en matière de réglementation reste un problème pour l'avenir du modèle de l'économie de partage. Jusqu'à présent, les plates-formes en ligne ont beaucoup profité d'un traitement juridique et réglementaire spécial, ou de l'absence de réglementation, mais cela ne va probablement pas durer. Les sites de partage de logements sont souvent accusés de réduire l'offre de logements abordables dans les grandes villes, et les pouvoirs publics trouvent des moyens de réglementer et de taxer l'économie du partage dans le monde entier. De nombreuses villes établissent de nouvelles règles, ou font appliquer celles qui existent, indiquant qui peut louer un logement et pour quelle durée. La ville de New York, par exemple, a adopté une loi qui prévoit des amendes allant jusqu'à 7 500 dollars pour les personnes qui publient des offres de séjour de moins de 30 jours sur Airbnb et les sites similaires. À Amsterdam, les autorités utilisent les listes d'Airbnb pour repérer les hôtels qui ne possèdent pas de licence. Mais certains font valoir que les personnes qui louent des chambres ne devraient pas être soumises aux mêmes réglementations strictes que les hôtels. Une réglementation trop sévère de l'économie de partage pourrait étouffer la croissance de ce nouveau modèle économique, en particulier aux dépens des jeunes entreprises.

Source : Adapté de The Economist (2013b).

Dans un avenir proche, quand les systèmes de télérobotique médicale feront partie de l'équipement standard des hôpitaux et que les systèmes de téléprésence donneront l'impression que les interactions sur Internet sont réelles, il sera sans doute possible de fournir certains services indépendamment du lieu où se trouve le fournisseur. Les conséquences de ces évolutions pourraient être

analogues à celles du commerce numérique dans le cas des services aux entreprises : les travailleurs des pays à salaires élevés pourraient être en concurrence directe avec les travailleurs des pays à bas salaires offrant leurs services à distance. À terme, cela pourrait créer des modes entièrement nouveaux d'organisation de l'industrie des services, avec une relocalisation des tâches dans l'ensemble du globe

Encadré C.7 : La téléchirurgie

La téléchirurgie donne une idée de la mesure dans laquelle la robotique peut transformer l'industrie des services. Développée à l'origine par l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace des États-Unis (NASA) et financée par le Département de la défense, la téléchirurgie (ou chirurgie à distance) promettait de rendre la chirurgie possible dans des lieux où il n'y a pas de chirurgiens, comme les vaisseaux spatiaux ou les zones de conflit. La première téléchirurgie transatlantique a eu lieu en 2001, lorsqu'un chirurgien se trouvant à New York a procédé à l'ablation de la vésicule biliaire d'une femme de 68 ans dans un hôpital de Strasbourg (France) au moyen d'un robot chirurgical télécommandé (Wall et Marescaux, 2013).

Aujourd'hui, la chirurgie télécommandée est encore peu répandue, mais elle est en train de se développer – par exemple un médecin canadien a réalisé plus de 20 opérations à distance en commandant un robot chirurgical dans une autre partie du pays (Eveleth, 2014). Avgousti *et al.* (2016) passent en revue 56 systèmes de télérobotique médicale, pour la plupart en phase de développement, qui permettent de faire de la chirurgie à grande distance. Ils notent plusieurs difficultés à surmonter avant que la téléchirurgie puisse être adoptée plus largement. Certaines sont d'ordre technique et concernent, par exemple, la stabilité et la sécurité des réseaux qui relient les deux extrémités de l'opération ; d'autres consistent en problèmes juridiques et réglementaires qui doivent être résolus. Par ailleurs, le coût d'acquisition et de maintenance des systèmes de téléchirurgie est encore extrêmement élevé. Mais, à mesure que ces problèmes seront résolus et que le coût du matériel technique diminuera, de nouveaux modes de commerce international des traitements médicaux apparaîtront, au bénéfice des patients du monde entier.

Si la téléchirurgie n'en est encore qu'à ses débuts, la téléprésence est déjà largement utilisée dans les hôpitaux. À l'aide de caméras et de microphones, des chirurgiens experts peuvent guider d'autres chirurgiens opérant à des milliers de kilomètres. Certaines études montrent que cet accompagnement à distance améliore le résultat des traitements médicaux (Wall et Marescaux, 2013). En détachant les compétences d'un praticien du lieu où il se trouve, la technologie numérique peut permettre une plus grande spécialisation et l'utilisation plus efficace des compétences médicales.

en fonction des avantages comparatifs. Baldwin (2016) prédit que cette évolution aura un très grand impact sur le secteur des services, car elle permettra d'échanger à travers les frontières un éventail de services beaucoup plus large que ce qui était le cas jusqu'à présent.

Pour que ce scénario se réalise, il faut que les coûts des systèmes de télérobotique et de téléprésence diminuent et que la demande de ces services reste stable. Toutefois, à mesure que la technologie robotique avance, l'intelligence artificielle (IA) progresse elle aussi. Les aspirateurs robots et les voitures autonomes suscitent un grand intérêt, car leur technologie se substitue au travail. À terme, la question de savoir si les tâches manuelles seront exécutées par des télétravailleurs ou par l'IA pourrait dépendre de l'importance du jugement humain que comporte la tâche. Par conséquent, la nature et la substituabilité des tâches impliquées par la fourniture de services détermineront dans quelle mesure les services seront acquis à l'étranger au moyen de la technologie numérique.

Pour résumer la sous-section précédente, il est concevable que le commerce des services gagnera en

importance à mesure que les technologies numériques réduiront les coûts du commerce et créeront de nouveaux moyens de fourniture transfrontières. En outre, les progrès technologiques qui auront lieu dans un avenir proche pourraient permettre le commerce transfrontières de la plupart des services. Ces évolutions pourraient avoir des effets révolutionnaires sur le système commercial international, sur les économies nationales et sur les marchés du travail. La production mondiale de services pourrait être entièrement réorganisée en fonction des avantages comparatifs des pays.

(ii) Les nouvelles technologies influent sur la composition du commerce des marchandises

Les nouvelles technologies ont le pouvoir de transformer le mode et le lieu de production de biens tels que les produits électroniques, les pièces automobiles, les machines et les instruments médicaux. Avec la pénétration croissante de la technologie numérique, le commerce international de certains produits pourrait augmenter, tandis que celui d'autres produits pourrait diminuer, ou même disparaître, dans les prochaines décennies.

Le commerce des produits des technologies de l'information a augmenté

Les flux commerciaux de produits des technologies de l'information ont connu une croissance exponentielle au cours des dernières décennies. L'Accord sur les technologies de l'information (ATI) de l'OMC – signé en 1996 et élargi en 2015 – vise un grand nombre de produits de haute technologie, parmi lesquels les ordinateurs, le matériel de télécommunication, les semi-conducteurs, le matériel de fabrication et d'essai de semi-conducteurs, les logiciels et les instruments scientifiques, ainsi que la plupart des parties et accessoires de ces produits.

Le secteur des technologies de l'information est l'un de ceux qui connaissent la croissance la plus rapide dans le commerce mondial. En 2016, le commerce des produits visés par l'ATI représentait, selon les estimations, 1 600 milliards de dollars EU, soit près de trois fois plus que lorsque l'Accord a été signé en 1996 (voir la figure C.14). Aujourd'hui, le commerce de ces produits représente environ 15% des exportations mondiales de marchandises.¹²

Les types de produits visés par l'ATI qui font l'objet d'échanges ont profondément changé, en raison notamment des progrès technologiques et de l'évolution des préférences des consommateurs. La figure C.15 compare l'évolution de la part des produits visés par l'ATI entre 1996 et 2015. En 1996, les « semi-conducteurs » et les « ordinateurs et machines à calculer » représentaient la majeure

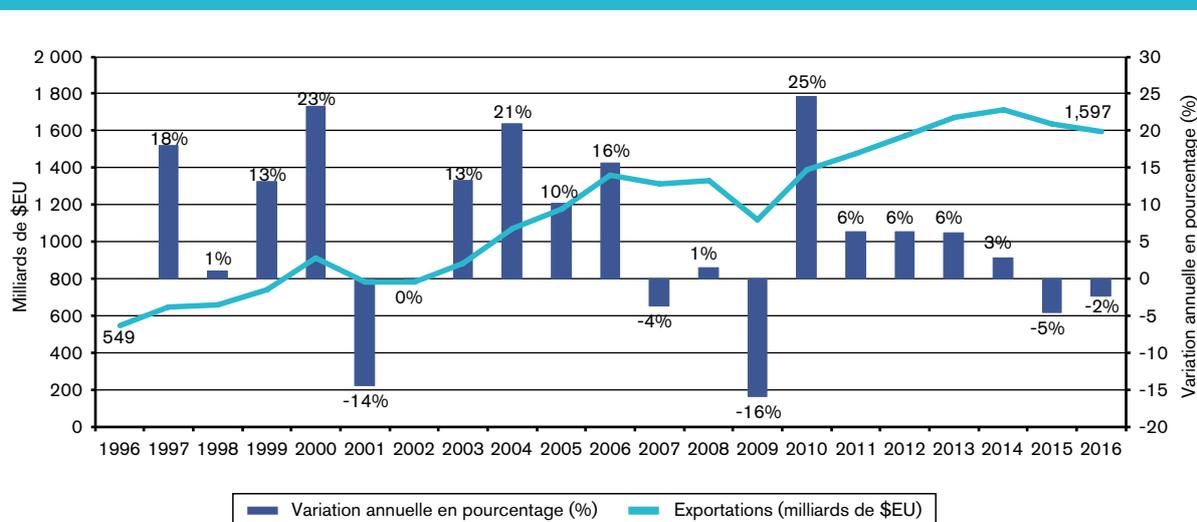
partie des exportations de produits des TI ; 20 ans plus tard, les « semi-conducteurs » étaient encore la principale catégorie de produits échangés, et la part du « matériel de télécommunication » est passée de 9% en 1996 à 21% en 2015. Cette augmentation s'explique en grande partie par la popularité croissante des téléphones mobiles, notamment des smartphones (OMC, 2017a).

L'expansion du commerce des produits visés par l'ATI fournit l'infrastructure de base qui permet le traitement de l'information et la communication, jouant un rôle vital dans l'adoption et l'utilisation des technologies numériques. La baisse des prix et la plus grande disponibilité des ordinateurs et des téléphones mobiles ont entraîné l'élargissement de l'accès à Internet et la croissance de l'économie numérique, créant aussi de nouvelles possibilités commerciales. Il est probable que l'expansion du commerce des produits des TI se poursuivra avec la pénétration croissante des technologies numériques et l'invention de nouveaux produits.

La réduction des coûts du commerce a un effet différent selon les secteurs

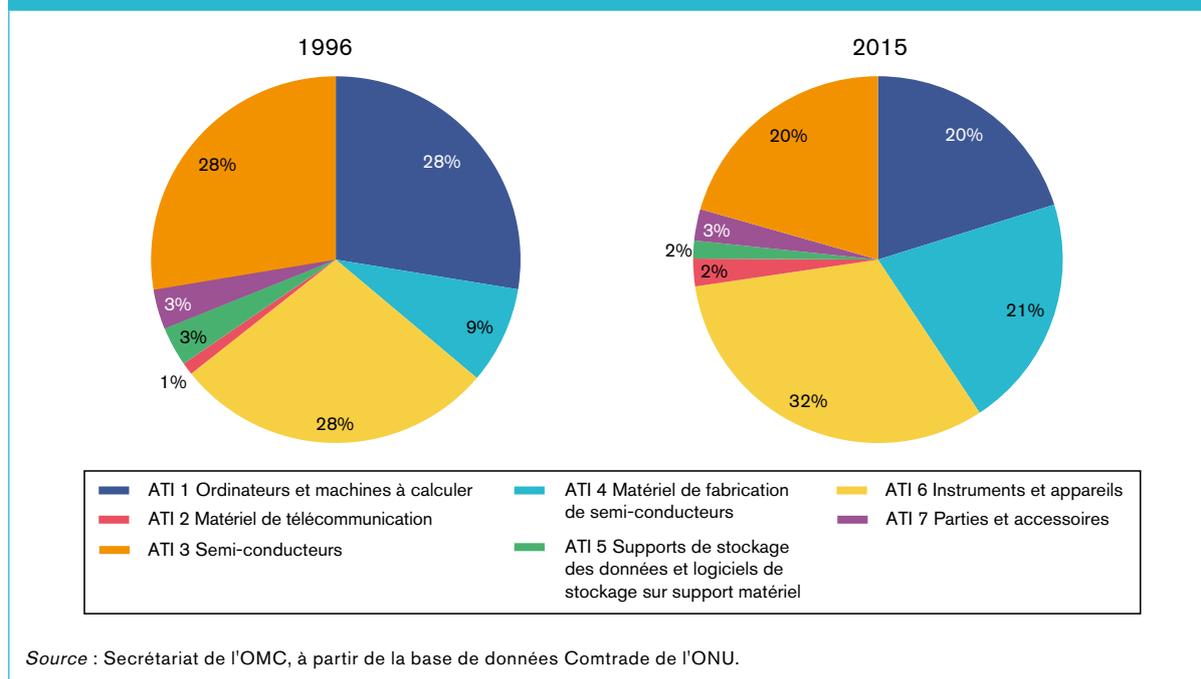
Les technologies numériques modifient l'économie du commerce transfrontières, réduisant le coût des communications et des transactions transfrontières (voir la section C.1). La baisse des coûts du commerce a permis l'essor du commerce de certains produits qui étaient plus coûteux à échanger auparavant.

Figure C.14 : Exportations mondiales de produits visés par l'ATI, 1996-2016



Source : Secrétariat de l'OMC, à partir de la base de données Comtrade de l'ONU (données déclarées, complétées par des estimations miroir).

Figure C.15 : Exportations mondiales de produits visés par l'ATI, par catégorie de produits (part en %)



La mesure dans laquelle les produits peuvent bénéficier de la baisse des coûts du commerce dépend de la structure de ces coûts et de l'ampleur de la réduction des coûts due à la numérisation. Freund et Weinhold (2004) présentent des données qui montrent clairement qu'Internet a augmenté le commerce des biens physiques du fait de la réduction du coût des communications internationales. Dans le même ordre d'idée, Fink *et al.* (2005) et Tang (2006) montrent que la baisse des coûts des communications transfrontières a eu une forte influence sur les flux commerciaux bilatéraux, notamment dans les secteurs où les produits sont plus différenciés ou où les coûts du transport international sont plus bas.

Les recherches empiriques qui comparent le commerce via les plates-formes en ligne et le commerce hors ligne donnent des indications intéressantes sur la nature du commerce numérique. S'appuyant sur des données de la plate-forme de commerce en ligne B2B (commerce interentreprises) d'Alibaba concernant cinq PMA d'Asie – Bangladesh, Cambodge, Myanmar, Népal et République démocratique populaire lao –, l'ITC (2017) constate que les produits qui s'échangent particulièrement bien hors ligne sont également très présents dans le commerce électronique. Pour les cinq PMA d'Asie étudiés, les vêtements et les produits textiles sont, avec les produits agricoles, les principales catégories d'exportations à la fois hors-ligne et en ligne. En outre, le commerce électronique facilite tout particulièrement le commerce des biens de

consommation transformés. Les lignes de produits dans lesquelles les MPME dominent, telles que les cadeaux et l'artisanat, attirent une plus grande part de la demande totale dans le commerce en ligne. Le commerce électronique offre aussi la possibilité de développer et de diversifier les exportations à la fois en termes de produits et de marchés. Les vêtements et les accessoires du vêtement, par exemple, représentent environ 86% des exportations totales du Bangladesh mais seulement 47% de la demande en ligne. Les produits agricoles, les produits alimentaires et les boissons, et les produits électroniques grand public comblent l'écart.

L'utilisation croissante des technologies numériques pourrait donner une impulsion au commerce des produits pour lesquels les coûts de transport, de respect de la réglementation, d'information et de transaction étaient traditionnellement plus élevés. Parmi les produits susceptibles de bénéficier d'une réduction des coûts du commerce figurent les produits sensibles au facteur temps et les produits à forte intensité de certification et les produits à forte intensité contractuelle.

Produits sensibles au facteur temps

Le recours croissant aux technologies numériques permet aux entreprises de gérer des chaînes d'approvisionnement complexes et d'accélérer la livraison des produits. Même si la numérisation ne peut pas raccourcir la distance physique entre les pays, de

nouvelles technologies telles que l'Internet des objets (IdO) et l'IA permettent aux entreprises de visualiser de façon quasiment instantanée leurs chaînes d'approvisionnement complexes et de coordonner les vendeurs en temps réel à l'échelle mondiale.

Les technologies numériques réduisent aussi les délais et les frais de livraison. Hema, un concept d'épicerie de détail mis au point par Alibaba, peut livrer des produits d'épicerie aux consommateurs dans les 30 minutes qui suivent la commande. L'entreprise est parvenue à assurer des délais de livraison rapides en combinant un système de paiement mobile avec des entrepôts physiques dans les zones très peuplées des grandes villes chinoises. Les utilisateurs de l'application mobile gérée par New Retail qui habitent dans un rayon de trois kilomètres d'un entrepôt peuvent se faire livrer 24 heures sur 24. Outre les produits frais habituels tels que les fruits et les légumes, le détaillant en ligne livre des poissons et d'autres produits de la mer vivants (Wang, 2017).

Plusieurs études académiques examinent la sensibilité de différents produits au facteur temps. Hummels et Schaur (2013), par exemple, étudient la probabilité que le transport aérien soit choisi plutôt que le transport maritime pour différents produits manufacturés. Ils constatent que le commerce des produits les plus sensibles au facteur temps est notamment celui des pièces et composants, dont la sensibilité dépasse de 60% celle des autres produits, car la présence de chaînes d'approvisionnement mondiales à plusieurs niveaux peut accroître les coûts liés au temps, de sorte que l'absence de composants essentiels due à un retard de livraison ou à une qualité défectueuse peut interrompre le fonctionnement de toute une usine d'assemblage. Une version antérieure de l'étude (Hummels, 2001) avait montré aussi que les produits manufacturés les plus sensibles au facteur temps étaient le matériel de bureau, les machines et appareils pour la production et la transformation de l'électricité et le matériel photographique. Djankov *et al.* (2010) estiment le coût des retards dans le commerce. Ils constatent que chaque jour de retard supplémentaire réduit le commerce d'au moins 1%. Les retards ont une incidence encore plus grande sur les exportations de produits sensibles au facteur temps des pays en développement. En particulier, un jour de retard réduit de 7% les exportations des produits agricoles qui sont sensibles au facteur temps par rapport aux produits qui ne le sont pas.¹³

Comme la commercialisation rapide est plus importante que jamais dans un monde numérique, de nombreuses entreprises sont en train de réévaluer l'intérêt des chaînes d'approvisionnement longues

et complexes. Selon une enquête récente d'UPS, un tiers environ des entreprises de haute technologie déplacent actuellement leurs activités de fabrication ou d'assemblage pour les rapprocher des marchés des utilisateurs finals (UPS, 2015). La section C.2 c) examine plus en détail l'incidence des technologies numériques sur les chaînes de valeur.

Grâce à la baisse des coûts de transport et de logistique, le commerce des produits sensibles au facteur temps pourrait augmenter à l'avenir. Les technologies numériques offrent la possibilité de réduire encore les coûts de transport et d'optimiser les chaînes d'approvisionnement. Comme les systèmes permettent d'assurer l'acheminement plus efficace des produits et de prévoir leur arrivée, l'intégration de l'IA dans le réseau complexe de la production et de la distribution pourrait entraîner des gains importants pour le commerce des produits sensibles au facteur temps tels que les produits alimentaires périssables, les articles qui se démodent rapidement, les fournitures médicales d'urgence et les intrants intermédiaires dans les chaînes d'approvisionnement (The Economist, 2018a).

Produits à forte intensité de certification

Le commerce des produits qui nécessitent une certification et un étiquetage pourrait augmenter, car les technologies numériques permettent de réduire les coûts de vérification et de respect de la réglementation.

La justification économique des exigences de certification repose sur la théorie selon laquelle le flux d'informations entre les participants aux marchés joue un rôle critique dans le fonctionnement efficace des marchés (Akerlof, 1970 ; Stiglitz, 1996). En mettant à la disposition des consommateurs les renseignements détenus initialement par l'entreprise, la certification élimine l'asymétrie d'information et réduit les coûts de recherche. Les entreprises des pays en développement sont de plus en plus nombreuses à demander spontanément des certifications qui signalent la qualité de leurs produits pour entrer sur les marchés internationaux (Hudson et Jones, 2013 ; Auriol et Schilizzi, 2015). Toutefois, le respect des exigences de certification peut être coûteux, notamment pour les petites entreprises des pays en développement (Maskus *et al.*, 2005).

Les technologies numériques éliminent certaines asymétries d'information en rendant plus transparents les attributs et les procédés de fabrication des produits, de sorte que les marchés fonctionnent de manière plus efficace. Cela peut entraîner une diminution des coûts de certification.

Quels types de produits peuvent être concernés ? Une certification est souvent exigée pour les produits alimentaires et agricoles, afin de vérifier s'ils sont conformes aux normes de sécurité sanitaire et aux normes zoosanitaires et phytosanitaires. Pour les produits industriels, les principaux secteurs utilisant des normes de gestion de la qualité sont ceux des métaux communs et des ouvrages en métaux, du matériel électrique et optique et des machines et du matériel, d'après une étude de l'Organisation internationale de normalisation (ISO, 2017).

La question de savoir si un produit peut bénéficier de la réduction des coûts de certification dépend de la possibilité d'établir un lien crédible entre ce qui se passe en ligne et hors ligne. Analysant l'utilisation de la chaîne de blocs, Catalini et Gans (2016) font observer que, s'il est relativement peu coûteux de vérifier une transaction portant sur des marchandises ayant des attributs hors ligne faciles à appréhender et difficiles à falsifier (par exemple les diamants), il est encore coûteux, dans bien des cas, de maintenir un lien robuste entre les événements en ligne et les registres distribués, de sorte que l'information asymétrique et l'aléa moral restent un problème. Dans ce contexte, les appareils IdO peuvent jouer un rôle important, car ils peuvent servir à enregistrer des informations de terrain au moyen de capteurs, de dispositifs GPS, etc.

En réduisant le coût d'obtention des certifications et en augmentant la transparence des chaînes d'approvisionnement, les technologies numériques peuvent accroître le commerce des produits dont les coûts de certification sont élevés. La réduction probable de ces coûts induite par la technologie varie selon les secteurs ; les produits susceptibles d'en bénéficier le plus sont les articles de luxe, l'électronique grand public et les produits alimentaires.

Produits à forte intensité contractuelle

Le commerce international nécessite une grande quantité de documents, depuis les contrats jusqu'aux documents de fret et aux connaissements. Les difficultés liées à la rédaction et à l'exécution d'un contrat commercial international peuvent décourager les entrepreneurs – notamment les petites entreprises – de participer au commerce.

Les recherches empiriques montrent que les coûts de transaction liés à l'insécurité des échanges qui résulte de la corruption ou de l'exécution imparfaite des contrats ont un effet très dissuasif sur le commerce international (Anderson et Marcouiller, 2002). Les commerçants des pays où les institutions sont faibles doivent souvent recourir à des intermédiaires et des

réseaux coûteux (Rauch, 1999) ou privilégier les partenaires en qui ils ont confiance (Guiso *et al.*, 2009).

Comme on l'a vu dans la section précédente, les technologies numériques peuvent réduire sensiblement les coûts d'information et de transaction, notamment grâce aux plates-formes en ligne qui mettent en correspondance les acheteurs et les vendeurs et aux systèmes de notation qui réduisent les asymétries d'information. Les technologies émergentes devraient réduire encore les coûts liés aux transactions internationales en supprimant la nécessité de recourir à des tiers pour gérer les transactions et tenir des registres. Les contrats intelligents basés sur la chaîne de blocs, par exemple, peuvent être un moyen efficace et fiable d'autoriser automatiquement le paiement de marchandises après confirmation, de manière sûre et transparente, de l'exécution du contrat (Weernink *et al.*, 2017).

Grâce à la baisse des coûts de transaction, le commerce des produits qui nécessitent davantage d'investissements spécifiques à la relation augmentera probablement. Nunn (2007) construit une mesure de l'« intensité contractuelle » des secteurs en mesurant, pour chaque produit, la proportion d'intrants intermédiaires nécessitant des investissements spécifiques à la relation.¹⁴ Selon son calcul, la fabrication de matériel de transport, de matériel professionnel et scientifique et d'autres machines s'appuie beaucoup sur des contrats. Comme les intrants utilisés dans ces secteurs manufacturiers ne sont pas normalisés, les acheteurs et les vendeurs doivent établir une relation de confiance mutuelle en rédigeant et en exécutant des contrats. Étudiant l'utilisation de l'échange électronique de données (EDI) dans la République tchèque, Vrbová *et al.* (2016) constatent que les secteurs ayant un ratio élevé d'utilisation de l'EDI sont, entre autres, ceux des pièces automobiles, de l'électronique, de l'ingénierie, des matières plastiques, de la vente au détail et des textiles. Ces secteurs sont associés à des chaînes de valeur bien organisées. Il est donc probable qu'une diminution des coûts de transaction induite par la technologie aura un effet sur le commerce des produits finals et des produits intermédiaires dans ces secteurs.

Les nouvelles technologies influent sur la composition des échanges à travers la personnalisation de masse

Les progrès technologiques favorisent l'évolution vers la personnalisation de masse en créant des quantités virtuellement infinies de variétés adaptées aux besoins individuels (voir la section B.1 d)). Cette tendance pourrait être un important stimulant du commerce.

Plusieurs évolutions technologiques sont à l'origine de la tendance à la personnalisation de masse. Les technologies de collecte de données peuvent évaluer précisément les besoins et les goûts des consommateurs, permettant ainsi de concevoir des produits plus individualisés. Des technologies telles que la configuration interactive en ligne peuvent assembler les préférences des consommateurs et permettre aux acheteurs de visualiser le produit final. Grâce aux progrès de la numérisation 3D, il est plus facile de mesurer des objets réels, comme le corps humain, pour concevoir des produits individualisés adaptés à ces objets. Les réseaux sociaux et la production participative (c'est-à-dire l'obtention de produits et de services auprès d'un large groupe d'internautes, relativement ouvert et changeant rapidement) permettent aussi aux entreprises d'analyser les composants des produits réels ou virtuels, ce qui ouvre la voie à une meilleure personnalisation.

Dans le secteur manufacturier, la flexibilité des systèmes de production est essentielle pour produire de petites séries en vue d'une personnalisation de masse. Dans l'industrie automobile, par exemple, Ford et General Motors ont investi dans la robotique dynamiquement programmable, avec un outillage interchangeable qui peut passer rapidement d'un modèle ou d'une variante à un autre sans perte d'efficacité. Des entreprises d'autres secteurs adaptent actuellement ces technologies. Le système de production de Caterpillar, par exemple, découpe des pièces de chaussure aux mesures des clients au moyen d'un découpeur automatisé assisté par ordinateur (Gandhi *et al.*, 2013).

On s'attend à ce que la personnalisation de masse ait des applications dans un large éventail de secteurs, en particulier dans ceux où elle aurait un but fonctionnel ou esthétique, généralement fondé sur des préférences dictées par la biologie ou le goût, comme les secteurs de l'habillement, de l'alimentation, de la santé, de l'électronique grand public et de l'automobile.

Certaines marques de vêtements donnent déjà aux consommateurs la possibilité de configurer des articles avec différentes couleurs et différents éléments. Un site Web établi en Californie, par exemple, permet à ses utilisateurs de configurer des chaussures sur mesure. L'utilisateur choisit le type de chaussure et le style de la pointe, de l'arrière et du talon, ainsi que d'éventuelles décorations, et, à chaque clic, la prévisualisation est mise à jour automatiquement. Dans l'avenir, la technologie de numérisation 3D et les systèmes de fabrication flexibles pourraient permettre aux entreprises de fabriquer des vêtements personnalisés adaptés aux mesures individuelles.

Certaines entreprises de produits alimentaires et de boissons permettent aux utilisateurs de choisir différentes garnitures ou différents saveurs, tout en recueillant des données qui leur permettent de mesurer la popularité de certains ingrédients ou de saveurs particulières.¹⁵ Avec la multiplication des données disponibles sur les goûts et les besoins nutritionnels des consommateurs, les entreprises alimentaires pourraient offrir, dans l'avenir, des aliments et des vitamines personnalisés en fonction des goûts et des besoins nutritionnels de chacun.

Dans le secteur des soins de santé, il se peut que les laboratoires pharmaceutiques offrent, dans l'avenir, des médicaments personnalisés en fonction de l'ADN. Les informations génétiques pourraient aider les médecins à prescrire des doses plus efficaces et plus précises et à prévoir si une personne retirera des bénéfices d'un médicament particulier ou subira des effets secondaires graves (Adams, 2008).

Dans l'électronique grand public, des entreprises ont déjà développé des configurateurs en ligne qui permettent aux consommateurs de configurer les produits selon leurs préférences. Grâce aux progrès de la visualisation des produits ainsi qu'à la rapidité et à l'adaptabilité croissantes des logiciels, la configuration de produits devient une expérience séduisante. Les évolutions technologiques pourraient en outre permettre aux entreprises de produire des appareils électroniques très personnalisés avec des couleurs et des graphiques individualisés.

De même, on peut s'attendre à ce que l'industrie automobile personnalise les véhicules avec des couleurs, des dessins et des motifs adaptés aux préférences individuelles. Les progrès technologiques dans le domaine de la numérisation 3D, qui analyse un objet réel pour collecter des données sur sa forme et son apparence, pourraient faciliter la fabrication de composants individualisés tels que les sièges et les accessoires intérieurs, en les adaptant à la forme du corps.

Diverses études empiriques montrent que la personnalisation de masse induite par la technologie permet de diversifier les produits et apporte des gains de bien-être. Broda et Weinstein (2006) constatent, par exemple, que l'incidence de l'élargissement des choix est statistiquement et économiquement significative et ils estiment à environ 2,6% du PIB la valeur de l'augmentation de la variété des produits importés pour les consommateurs des États-Unis. Brynjolfsson *et al.* (2003) montrent que la plus grande variété des produits rendue possible par les marchés électroniques peut être une importante source de bien-être économique pour les consommateurs.

La personnalisation de masse pourrait entraîner une augmentation du commerce international. Les travaux originaux fondateurs de Paul Krugman (1979 ; 1980) posent que le goût des consommateurs pour la variété des produits, conjugué aux économies d'échelle dans la production, explique le commerce de produits similaires entre des pays similaires. Des études empiriques ont également montré qu'Internet avait entraîné une augmentation du commerce dans les secteurs où les produits sont faciles à différencier. Par exemple, Lendle *et al.* (2016) comparent les flux commerciaux internationaux hors ligne avec les transactions transfrontières sur eBay et constatent que la distance importe moins en ligne, surtout lorsque les produits sont plus différenciés et que, de ce fait, les frictions informationnelles sont fortes. Comme les entreprises situées dans des pays différents se spécialisent de plus en plus dans la productions personnalisée et comme les technologies permettent de faire des achats en ligne à des prix plus bas, cette personnalisation de masse pourrait entraîner une augmentation du commerce de produits similaires mais très différenciés répondant aux préférences différentes des consommateurs. Par contre, la personnalisation de masse pourrait aussi permettre de rapprocher la production des consommateurs, ce qui réduirait le commerce transfrontières de certains produits.

Le commerce des produits numérisables continuera probablement à diminuer

Au cours des dernières décennies, la numérisation a considérablement réduit le coût de la reproduction, de la création, de l'acquisition et de la diffusion d'œuvres créatives, qu'il s'agisse de textes, d'images ou de musique, entraînant une diminution du commerce des produits physiques utilisés comme supports de ces œuvres. Les livres, journaux, vidéocassettes/DVD et enregistrements musicaux/CD sont progressivement remplacés par les livres électroniques, les nouvelles applications et la diffusion en continu ou le téléchargement de contenus multimédias. La numérisation a transformé les secteurs concernés. Avec la baisse du coût de l'impression 3D, cette tendance à la numérisation pourrait s'étendre à de nouvelles catégories de produits – par exemple les objets en trois dimensions qui n'existent actuellement que sous forme physique.

Selon la définition conventionnelle, les produits numérisables (produits physiques pouvant être numérisés) comprennent les films cinématographiques ; imprimés traditionnels, comme les livres, brochures et ouvrages cartographiques, les journaux et publications périodiques, et les cartes postales, cartes de vœux et faire-part ; les jeux vidéo ; les logiciels ; et les supports

enregistrés, tels que les disques de musique, les bandes et les autres supports pour l'enregistrement du son ou pour enregistrements analogues.¹⁶ La part du commerce de ces produits diminue progressivement. La valeur actuelle des importations de produits numérisables des Membres de l'OMC, compte non tenu des échanges intra-UE, est de l'ordre de 0,8% des importations totales, alors qu'en 2000 elle était de 2,86% (voir la figure C.16).

L'avènement de la technologie d'impression 3D pourrait élargir le champ de la numérisation à une nouvelle catégorie de produits. En permettant de fabriquer un objet solide en trois dimensions à partir d'un modèle numérique, l'impression 3D donne la possibilité de produire des objets physiques sur place à partir de fichiers de données téléchargés sur Internet. Cela pourrait réduire le commerce international des produits de base, des produits intermédiaires et des produits finis, tout en augmentant le commerce des matériaux utilisés dans l'impression 3D, comme les matières plastiques et les résines. Comme on l'a vu précédemment, l'impression 3D, qui était une technologie émergente, a réussi à attirer des investissements importants. Bien que la quantité de produits fabriqués au moyen d'imprimantes 3D et la valeur des services connexes ne représentent actuellement qu'une fraction de la production mondiale, le taux de croissance annuel de l'investissement dans l'impression 3D a été de 29% pendant la période de cinq ans allant de 2012 à 2016 (Wohlers Associates, 2017), contre une moyenne de 9,7% pour l'investissement mondial dans les machines traditionnelles (ING, 2017). Cet accroissement de l'impression 3D signifie que les produits seront de plus en plus transmis par voie numérique et produits localement.

D'après certaines estimations de l'industrie, l'impression 3D pourrait entraîner une forte diminution du commerce des marchandises. Dans une analyse de scénarios, ING (2017) estime que si l'écart actuel de croissance entre l'investissement dans les imprimantes 3D et l'investissement dans les biens d'équipement traditionnels se maintient, la moitié des produits manufacturés fabriqués en 2060 seront imprimés en 3D. Dans un autre scénario, si le taux de croissance de la production imprimée en 3D double après cinq ans, ce seuil sera atteint en 2040. Ces deux scénarios sont indiqués dans la figure C.17. Dans le scénario I, le commerce mondial total des produits manufacturés sera inférieur de 19% à ce qu'il serait sans l'augmentation de l'impression 3D, car ces produits sont fabriqués localement au moyen d'imprimantes 3D. Dans le scénario II, on calcule que les deux cinquièmes du commerce mondial des marchandises disparaîtront d'ici à 2040.

Figure C.16 : Commerce des produits numérisables, en valeur et en % du commerce total

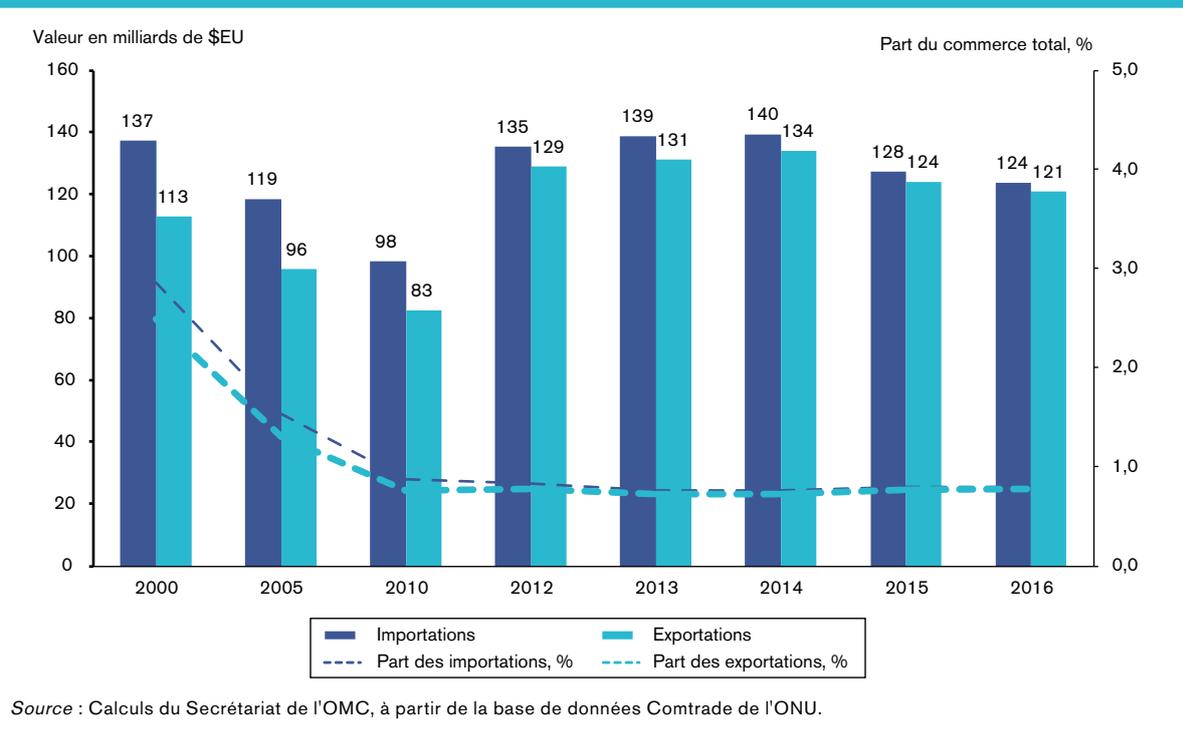
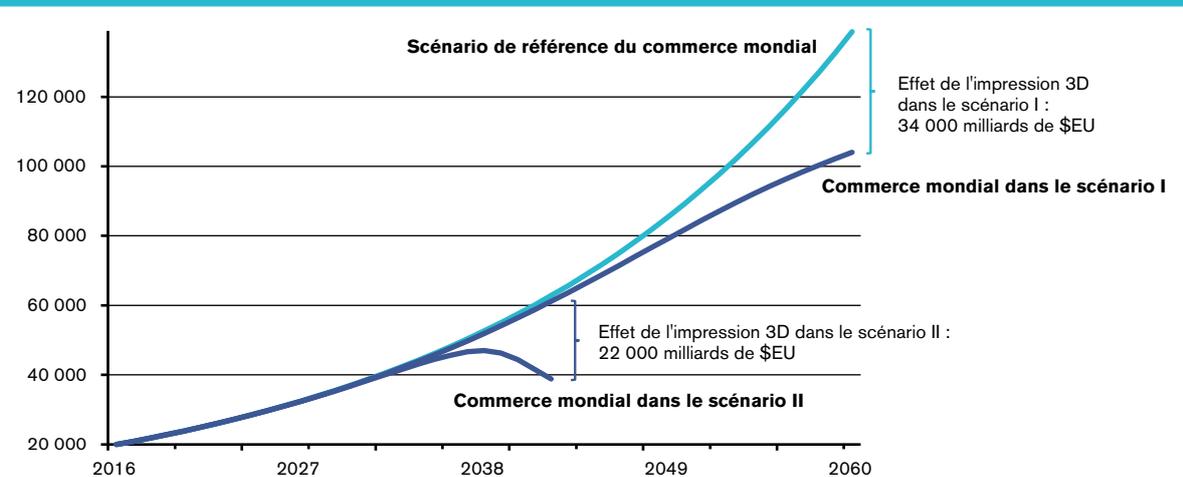


Figure C.17 : Scénarios comparant les effets de l'impression 3D sur le commerce mondial (marchandises et services) (milliards de \$EU)



Source : ING (2017) ; Wohlers Associates (2017).

Notes : Cette analyse de scénarios repose sur les hypothèses suivantes:

- (1) Le PIB réel annuel mondial augmentera en moyenne au même rythme que pendant les 30 dernières années (2,9%), et l'inflation mondiale représentera la moitié du taux de 5,1% enregistré dans le passé. Cela vaut pour le scénario I et le scénario II.
- (2) La croissance de référence du commerce (sans l'impression 3D) est calculée en supposant que le volume du commerce mondial augmentera en moyenne 1,2 fois plus que le PIB réel mondial jusqu'en 2060, de sorte que la croissance du commerce mondial réel sera de 3,5% par an.
- (3) L'augmentation des prix du commerce mondial ne représentera que la moitié du taux des 20 dernières années, soit 1% par an.
- (4) La part du secteur manufacturier dans le PIB mondial continuera à diminuer, de sorte qu'elle ne sera plus que de 10% en 2060 (12,5% en 2040), au lieu de 15% actuellement.
- (5) Comme la moitié de la production manufacturière sera alors obtenue avec des imprimantes 3D, les produits de fabrication traditionnelle (faisant l'objet d'exportation) représenteront 37 500 milliards de \$EU. Si, comme actuellement, la moitié de ces produits sont exportés, les exportations de produits manufacturés s'élèveront à 18 750 milliards de \$EU.
- (6) Le commerce mondial est mesuré sur la base des statistiques nationales du chiffre d'affaires à l'exportation, sujettes à un double comptage. D'après la Base de données mondiale des entrées-sorties, la valeur des exportations est en moyenne 1,4 fois plus élevée que leur valeur ajoutée. Si l'on multiplie cette valeur de la production par 1,4 pour convertir les chiffres de la production en chiffres des exportations, la valeur des exportations mondiales restantes de produits de fabrication traditionnelle s'élève à 26 250 milliards de \$EU.

L'impression 3D pourrait aussi affecter le commerce des services. Alors que certains services liés au secteur manufacturier tels que le financement du commerce, le transport et la logistique pourraient reculer, d'autres services liés aux imprimantes 3D tels que l'installation, la réparation, la conception, les logiciels et la formation pourraient se développer.

Les cinq secteurs qui achètent le plus d'imprimantes 3D et de services connexes sont les machines industrielles, l'aérospatiale, l'automobile, les appareils médicaux/dentaires et les produits de consommation (électronique, etc.). Ils sont à l'origine de 75% des investissements dans l'impression 3D (voir le tableau C.2). Ces cinq secteurs de pointe représentent 43% du commerce mondial, et ce sont leurs activités 3D qui auront le plus grand impact sur le commerce international.

La possibilité de numériser des objets physiques incorporant un travail de création souligne l'importance de la protection des DPI. Comme la technologie numérique permet aux ménages de fabriquer des produits à partir de modèles téléchargés sur Internet, il est difficile pour les détenteurs de DPI de déterminer si et comment ils

peuvent faire respecter leurs droits dans ce secteur. Alors que des données empiriques indiquent que les entreprises d'impression 3D respectent les brevets dans ce domaine (Bechtold, 2015), l'impression 3D personnelle pourrait poser des problèmes importants en matière de protection des DPI. Les atteintes aux droits pourraient être difficiles à détecter, car elles auraient souvent lieu à domicile. La possibilité de copier et de modifier des objets qui sont entièrement ou partiellement protégés par des DPI pourrait soulever de nouvelles difficultés (OCDE, 2017e).

L'« économie de partage » aura aussi probablement des effets sur le commerce en raison de son impact sur la demande de biens durables

Les nouveaux modèles économiques comme l'« économie de partage » auront aussi probablement des effets sur le commerce en raison de leur impact sur la demande de biens durables. L'économie de partage donne la possibilité de monétiser des actifs sous-utilisés ou de renoncer complètement à l'achat de ces actifs, ce qui bouleverse le comportement d'achat des consommateurs, surtout lorsqu'il s'agit de produits coûteux, comme les automobiles et les logements.

Tableau C.2 : Domaines d'application et conséquences de l'impression 3D, 2016

Domaine d'application	Part des ventes d'imprimantes 3D	Exemples d'application	Effets de la production 3D
Machines industrielles	19%	Production d'outils tels que scies sauteuses et accessoires.	Gain de temps/coûts de production plus faibles (délais plus courts).
Aérospatiale	18%	Petites quantités de pièces géométriquement complexes et légères.	Moins de stocks et production parfois plus rapide (et moins coûteuse).
Automobile	15%	Prototypes fonctionnels, petites pièces complexes pour les voitures de luxe et les voitures anciennes. Production principalement hors-série d'outils et de pièces spécifiques et de prototypage.	Réduction, voire élimination, de l'usinage, de la soudure et de chaînes de montage entières. Les outils de conception et de fabrication deviennent superflus.
Produits de consommation (électronique, par exemple)	13%	Systèmes micro-électromécaniques, circuits micro-ondes fabriqués sur substrats papier, dispositifs de radio-identification à l'intérieur d'objets métalliques solides (technologie de radio-identification), pinces en 3 dimensions à base de polymères.	Adaptation plus facile aux processus de développement spécifiques au domaine, accélération du processus de conception, intégration fonctionnelle de plusieurs dispositifs électroniques différents en un seul produit, prototypes fonctionnels, pièces détachées produites à la demande.
Appareils médicaux et dentaires	11%	Prothèses numériques, aligneurs dentaires et appareils dentaires invisibles, restauration dentaire.	Délai de traitement réduit, numérisation du processus de fabrication, reproduction facile des propriétés de production.
Autres	24%		

Source : ING (2017) ; Parlement européen (2015b) ; Wohlers Associates (2017).

Notes : D'après les réponses fournies par 61 fabricants d'imprimantes 3D, situés en Amérique du Nord, en Europe, en Asie et en Afrique du Sud, auxquels on a demandé pour quoi leurs clients utilisaient les imprimantes.

Outre la création de nouveaux flux commerciaux de services (voir la section précédente), le modèle de l'économie de partage pourrait modifier la demande de biens de consommation durables. Certains facteurs indiquent une augmentation de la demande de ces biens, tandis que d'autres pourraient entraîner une baisse de la demande. L'impact de la technologie numérique sur la demande de biens durables dépendra en partie de l'effet de la numérisation : 1) sur les services fournis en conjonction avec ces produits (par exemple services de partage de voitures), ce qui pourrait à terme entraîner l'utilisation plus efficace du produit ; et 2) sur le contenu de ces produits, en particulier la relation entre la partie numérique (service) et la partie fabriquée. L'encadré C.8 examine l'impact de la numérisation sur la demande de biens durables dans le secteur automobile.

Les biens durables ont également une forte intensité commerciale. Le ralentissement du commerce mondial au cours des dernières années a amené à analyser ses causes et ses conséquences possibles. Auboin et Borino (2017) ont estimé l'équation type des importations pour 38 économies avancées et en développement au moyen d'une mesure de la demande globale ajustée en fonction de l'intensité des importations. Ils ont constaté que la faiblesse prolongée de la demande globale depuis la fin de la crise mondiale, en particulier pour les éléments ayant la plus forte intensité commerciale (biens d'équipement et biens de consommation), a été le principal obstacle à la croissance du commerce, représentant jusqu'à trois quarts du ralentissement global. L'évolution de la demande de biens durables pourrait donc avoir des incidences sur la composition des échanges.

Alors que les technologies numériques ont entraîné une augmentation du commerce de certains produits, les échanges d'autres produits ont progressivement diminué, entraînant une augmentation du commerce des services et des flux de données. Cette section a analysé l'impact des technologies numériques sur le commerce des marchandises. Le commerce des produits des TI n'a cessé de croître au cours des dernières décennies avec le développement et l'adoption de plus en plus large des technologies numériques. Ces technologies peuvent permettre de réduire davantage les coûts du commerce, ce qui favorise le commerce des produits particulièrement sensibles au facteur temps, des produits à forte intensité de certification et des produits à forte intensité contractuelle. Les technologies ont aussi permis la personnalisation de masse, créant des variétés virtuellement infinies pour répondre aux besoins individuels des consommateurs. En revanche, la numérisation a entraîné le recul du commerce de

certain produits numérisables – tels que les CD, les livres et les journaux –, et il est probable que la tendance se poursuivra avec l'avènement de la technologie d'impression 3D. Dans ce contexte, les DPI ont un rôle central à jouer dans l'avenir du commerce. Le modèle économique de l'« économie de partage » pourrait avoir des effets sur le commerce de certains biens de consommation durables. Dans le secteur automobile, par exemple, l'économie de partage pourrait entraîner une baisse de la demande due au fait que les ménages seront moins incités à acheter de nouvelles voitures. Parallèlement, les nouveaux modèles de voitures intégrant des logiciels et du matériel informatique pourraient créer une nouvelle demande, notamment sur les marchés émergents.

(iii) La propriété intellectuelle dans le commerce

L'évolution des technologies numériques a radicalement transformé les liens entre la propriété intellectuelle (PI) et le commerce international. Traditionnellement, les DPI étaient considérés comme un élément de la valeur ajoutée incorporée dans les biens et les services échangés. Le commerce de la musique, des films, des livres, des revues, des journaux et même des logiciels grand public se faisait essentiellement par l'échange de supports physiques. La transformation d'Internet, qui était à l'origine un réseau essentiellement scientifique et universitaire et qui est devenu, surtout à partir du début des années 1990, une plate-forme d'échanges sociaux, culturels et commerciaux, a entraîné de profondes transformations dans ces secteurs.

Cette transformation a eu en partie pour effet de rendre plus évidents les liens entre la PI et le commerce. Dans l'environnement numérique, les transactions portant sur des produits tels que les livres, la musique et les logiciels ne sont généralement pas définies par le transfert de propriété d'un support physique entre un vendeur et un acheteur ; et la propriété ou le contrôle d'une copie physique n'est plus un indicateur de l'ensemble des droits nécessaires pour en utiliser le contenu. Au lieu de cela, l'« achat » en ligne d'un livre électronique, d'une application, d'un téléchargement de musique ou d'un modèle pour imprimante 3D est généralement défini en termes juridiques par un contrat et prend la forme d'une licence d'utilisation limitée des DPI, et il peut aussi être structuré par des mesures de protection technologique qui limitent les usages effectifs du matériel sous licence. Comme le dit clairement une plate-forme de contenus largement utilisée : « Les applications disponibles par le biais de l'App Store ne vous sont pas vendues mais vous sont concédées sous licence » (Apple Inc., 2018). Ces licences entre

Encadré C.8 : L'impact de la technologie numérique sur la demande d'automobiles

En rendant plus efficace l'utilisation des voitures, les services numériques de partage de voitures réduisent les coûts de transport pour le consommateur et contribuent à l'augmentation des commandes transfrontières de ce service (par exemple une personne qui réserve un service de covoiturage en ligne pour son transfert depuis un aéroport). La baisse du coût des services de transport individuel liée aux applications numériques a sans nul doute entraîné une augmentation de la demande de ces services, qui fait plus que compenser la baisse de la demande des substituts existants (par exemple les taxis). Le modèle économique de l'économie de partage permet d'optimiser l'utilisation des véhicules existants, ce qui pourrait contribuer à la réduction du nombre total de voitures nécessaires pour le transport. Cependant, les nouvelles fonctionnalités qu'apportent les technologies numériques pourraient créer un nouvel ordre de préférences qui rendrait plus attractif l'achat de nouveaux véhicules. La littérature présente un assez large éventail de scénarios.

D'une part, la Barclays Bank (2016) prévoit que les voitures partagées sans chauffeur qui arrivent sur le marché pourraient réduire les ventes totales d'automobiles aux États-Unis de 40% au cours des 25 prochaines années. Les constructeurs automobiles devraient donc réduire leur taille pour survivre (Naughton, 2015). Dans ce scénario, les véhicules automatisés réduiraient sensiblement les coûts d'exploitation (pas de frais de chauffeur par exemple) pour les services de covoiturage et de partage de véhicules, et la demande de ces services de mobilité augmenterait. Le modèle des véhicules détenus en propre par les ménages changerait progressivement. Les citoyens chercheraient à terme à éviter les coûts fixes liés à la possession d'une voiture. Toutefois, comme les véhicules automatisés partagés seraient utilisés de manière plus intensive que les voitures conventionnelles, ils s'useraient plus rapidement et auraient besoin d'être remplacés plus souvent (Milakis *et al.*, 2017).

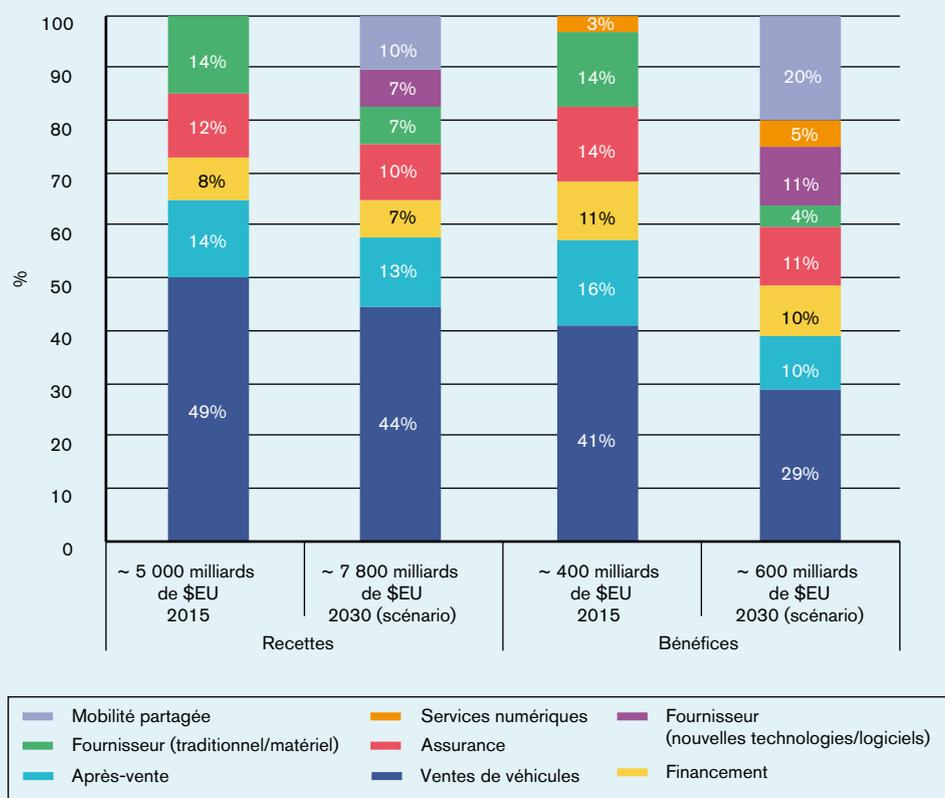
D'autre part, plusieurs scénarios relatifs à l'industrie automobile prévoient une augmentation continue de la demande de véhicules, en particulier sur les marchés émergents, avec une croissance limitée sur les marchés « matures » (États-Unis et Europe). Ces scénarios tiennent compte de la numérisation des fonctions des voitures et des attentes plus grandes des clients concernant les évolutions technologiques, notamment le fait que les véhicules soient équipés de technologies numériques pouvant fonctionner de façon autonome pendant la conduite, aient moins d'accidents et soient dotés de capacités d'auto-apprentissage et de communication. Le scénario de référence figurant dans le Connected car report 2016 de PwC prévoit une augmentation relativement régulière de la demande de véhicules et du chiffre d'affaires de l'industrie automobile jusqu'en 2030, qui passerait de 5 000 milliards de \$EU actuellement à 7 800 milliards de \$EU, grâce surtout à l'augmentation de la demande dans les pays en développement (PwC, 2016).

La principale variable en l'occurrence est la diminution des bénéfices des constructeurs automobiles, malgré l'augmentation des volumes, car les marges seront érodées par l'augmentation des parts de marché des nouveaux arrivants par rapport à celles des constructeurs traditionnels et par le déplacement de la valeur des pièces automobiles au profit de la mobilité partagée et des services numériques (voir la figure C.18). L'idée que la connectivité entraînera une redistribution des recettes globales de l'industrie automobile est largement partagée dans ces scénarios (McKinsey & Company, 2014).

Il convient de se demander si l'intégration de davantage de technologies numériques créant de nouvelles fonctionnalités aurait un effet sur le prix global des véhicules. La valeur logicielle d'une voiture devrait augmenter avec les nouvelles fonctionnalités offertes par les technologies numériques (par exemple les fonctionnalités disponibles dans les voitures connectées comme l'assistance logicielle relative aux principales fonctions mécaniques). Plusieurs observateurs font cependant valoir que l'industrie automobile sait depuis longtemps tirer parti des avantages transversaux dans la conception et la production (voir Deloitte, 2015c). Les clients se sont habitués à disposer de musique et d'autres divertissements, souvent gratuitement, et « ils ont résisté à l'idée de payer un supplément pour ces services dans leurs voitures » (Kaiser, 2013). Presque tous les observateurs prédisent une course entre les sociétés de logiciels et les constructeurs automobiles traditionnels pour s'emparer de la rente offerte par la connectivité, mais cette rente pourrait diminuer du fait de la baisse du prix de la technologie et de la réticence des clients à payer les voitures plus chères. La solution serait que les constructeurs automobiles cherchent à raccourcir les cycles de conception et de production. Selon Deloitte (2015c), plusieurs constructeurs ont commencé à repenser le processus de développement de produits afin d'accroître la flexibilité de la production et de réduire les délais de mise sur le marché et les coûts de production.

Encadré C.8 : L'impact de la technologie numérique sur la demande d'automobiles (suite)

Figure C.18 : Scénario des déplacements de valeur dans l'industrie automobile, 2015-2030 (%)



Source : PWC (2016).

Pour l'instant, la littérature sur l'industrie automobile (connectée) n'est pas concluante, car on ne sait pas si la demande mondiale finale de véhicules augmentera ou diminuera. La demande de biens d'équipement destinés à la production de biens durables pourrait augmenter à court terme (plus de robots dans les usines), et l'intégration d'un plus grand nombre de logiciels connectés exigera davantage de centres de données, d'où une plus grande demande de serveurs et d'autres matériels.

entreprises et consommateurs finals portant sur la PI sont généralement réservées à certains usages privés non commerciaux, ce qui impose des contraintes importantes quant à la réutilisation en aval.

Parallèlement à l'essor rapide de ce commerce de produits comportant d'importants éléments de PI, sur la base de contrats de licence internationaux, le transfert international de la propriété des DPI se diversifie. Il est de plus en plus fréquent que des entreprises soient rachetées principalement pour permettre le transfert de la propriété de portefeuilles de PI stratégiques. Un rapport de l'OMPI sur les énergies renouvelables montre que l'essor rapide des entreprises des économies émergentes comme

principaux détenteurs de portefeuilles de brevets en matière de technologie éolienne « peut être attribué dans une large mesure à leur poursuite stratégique de l'acquisition de connaissances au moyen d'une stratégie d'obtention de licences et de fusions-acquisitions » (Helm *et al.*, 2014).

Analysant l'économie du droit d'auteur et d'Internet, Wunsch-Vincent (2013) fait observer que quelques facteurs importants engendrés par les technologies numériques modifient fondamentalement la façon dont les contenus sont créés et dont on peut y accéder, et ils pourraient changer le mode d'administration des droits d'auteur.

Premièrement, Internet et la plus grande disponibilité des technologies numériques ont considérablement réduit le coût de la création et de la distribution d'œuvres créatives à l'échelle mondiale. Alors que les coûts de distribution de contenus ont chuté, de nombreux secteurs créateurs de contenus ont vu leurs coûts augmenter du fait de la production dans le contexte numérique. Dans le même temps, les outils qui sont utilisés pour distribuer les œuvres créatives facilitent eux-mêmes le piratage de ces œuvres, car le coût variable de la copie et de la diffusion de copies non autorisées est devenu quasiment nul.

Deuxièmement, l'essor d'Internet comme nouveau circuit de distribution a modifié la façon dont les œuvres sont rendues accessibles et dont les recettes sont générées et partagées. Les chaînes de valeur et les modèles économiques ont changé, de même que les possibilités de recettes et les incitations qui leur sont associées, et l'effet sur l'offre d'œuvres créatives et sur l'accès à ces œuvres est incertain. Cela ne veut pas dire que les recettes des créateurs de contenus, de l'industrie des contenus ou d'autres seront nécessairement affectées. Si l'ensemble des recettes augmente, les créateurs originaux pourraient en bénéficier. La question de savoir si les recettes des créateurs ont augmenté ou diminué du fait de la transformation numérique est finalement d'ordre empirique.

L'émergence de ces diverses formes de commerce qui comportent nécessairement des DPI a des conséquences directes, non seulement sur la politique commerciale, mais aussi sur la façon dont nous comprenons la nature même du « commerce » : la croissance des plates-formes numériques a permis des centaines de milliards de transactions de valeur de par le globe, qui représentent, en termes juridiques, des licences entre entreprises et consommateurs (B2C), définies par référence aux DPI. Il est difficile de savoir dans quelle mesure ces transactions sont enregistrées dans les statistiques commerciales actuelles, mais leur valeur est désormais une composante majeure des recettes des industries de contenus, et une part de ces gains est redistribuée aux développeurs d'applications, aux musiciens, aux auteurs et aux autres créateurs au niveau international. Une image plus claire de ces flux de recettes importants permettrait de mieux appréhender la structure du commerce international dans ces secteurs et de comprendre plus précisément en quoi les économies bénéficient de cette forme de commerce international, car les plates-formes Internet servent à connecter les développeurs de contenus du monde entier avec les consommateurs dans de multiples juridictions. L'ampleur de ces transactions internationales est illustrée par l'exemple d'une

entreprise particulière, Apple, qui a déclaré en juin 2017 qu'elle avait servi de canal à des paiements de plus de 70 milliards de dollars EU à sa « communauté mondiale de développeurs » depuis l'ouverture de son App Store en 2008, car plus de 180 milliards d'applications avaient été téléchargées depuis lors (Apple Inc., 2017).

(b) Qui échange quoi ? La structure des échanges à l'ère numérique

Qu'est-ce qui déterminera la structure des échanges dans l'avenir ? Comme on l'a vu dans les sections précédentes, les technologies numériques créent de nouveaux produits, modifient les caractéristiques des produits traditionnels, réduisent les coûts du commerce et transforment la composition sectorielle de la production. Ces évolutions influent sur la structure des échanges en modifiant l'importance relative de ses déterminants sous-jacents (par exemple les ressources en main-d'œuvre ou les différences de productivité) et en créant des déterminants entièrement nouveaux (par exemple l'infrastructure numérique). Pour répondre à la question de savoir qui échange quoi à l'ère numérique, cette section examine quels déterminants traditionnels de la structure des échanges deviendront probablement plus importants et indique quels nouveaux déterminants pourraient apparaître à l'ère numérique.

Les déterminants de la structure des échanges sont généralement les caractéristiques des pays qui interagissent avec les caractéristiques des produits ou des secteurs pour donner à un pays un avantage de coût relatif dans la production de ces produits par rapport à ses partenaires commerciaux. C'est ce que l'on appelle couramment les sources de l'avantage comparatif. Les exemples classiques de ces caractéristiques des pays sont les différences de productivité relative ou de dotation en facteurs tels que le capital, les ressources naturelles ou la main-d'œuvre. Les pays où le capital est abondant ont tendance à se spécialiser dans la production et l'exportation de biens à forte intensité de capital, alors que les pays où la main-d'œuvre est abondante exportent des biens à forte intensité de main-d'œuvre.

Outre ces déterminants classiques de la structure des échanges, des chercheurs ont montré que les différences en matière de réglementation, de taille de marché et d'infrastructure influent sur ce que les pays échangent. Nunn (2007) constate ainsi que les pays ayant des institutions juridiques solides ont un avantage comparatif dans les produits à forte intensité contractuelle. Helpman et Krugman (1985) avancent que les pays qui ont un grand marché intérieur exportent dans les secteurs qui présentent

de grandes potentialités d'économies d'échelle. Beck (2003) et Manova (2013) montrent que les institutions financières jouent un rôle dans l'avantage comparatif, car les secteurs sont plus ou moins dépendants du capital extérieur. Cuñat et Melitz (2012) et Tang (2012) fournissent des éléments indiquant que la réglementation du marché du travail a aussi une incidence sur l'avantage comparatif dans les secteurs où les ventes sont très volatiles ou qui dépendent des qualifications sectorielles. Kowalski (2011) montre que la disponibilité et le coût abordable de l'énergie sont une source d'avantage comparatif, car les secteurs ont des besoins d'énergie très différents pour la production.

Du fait que la technologie numérique modifie les déterminants de la structure des échanges, de nouvelles possibilités apparaîtront pour les pays en développement comme pour les pays développés. Par exemple, comme la numérisation augmente la complexité des tâches exécutées par les travailleurs, les économies développées peuvent renforcer leur avantage comparatif dans les secteurs à forte intensité de qualifications. De même, comme les nouvelles technologies réduisent l'importance de l'infrastructure matérielle, les économies en développement pourront acquérir un avantage comparatif dans les secteurs les plus touchés par le passage du commerce physique au commerce numérisé. En outre, à mesure que les économies développées se spécialisent dans la production de haute technologie, les économies en développement devraient pouvoir diversifier leur portefeuille d'exportations et s'engager dans les nouveaux secteurs qui ont été libérés. Les technologies numériques peuvent donc accroître les gains du commerce pour les pays à tous les niveaux de revenu.¹⁷

Pour déterminer comment l'essor des technologies numériques modifie les déterminants importants pour le commerce, il faut classer les secteurs selon leur utilisation de ces technologies. La section B a montré que les secteurs sont très différents en termes de dépendance à l'égard des technologies numériques et a donné un classement des secteurs selon leur intensité numérique. Ce classement montre que les secteurs de services, à l'exception de la construction et des transports, ont tendance à utiliser les technologies numériques de façon plus intensive que le secteur manufacturier et le secteur agricole. Dans le secteur manufacturier, le matériel de transport et l'électronique ont une forte intensité numérique, comme le montrent les données de la Fédération internationale de la robotique, qui indiquent que l'industrie automobile utilise un grand nombre de robots et qu'elle bénéficiera probablement des progrès de la robotique intelligente. Des secteurs

tels que les textiles et le papier, en revanche, ont un rang peu élevé d'après les données sur la robotique et l'intensité numérique.

Le fait de classer les données de cette manière permettra à terme aux chercheurs d'examiner l'avantage comparatif numérique mais, en raison notamment de problèmes de données, la recherche dans ce domaine est encore limitée. Deardorff (2017) montre que le concept d'avantage comparatif reste pertinent pour expliquer le commerce à l'ère numérique. Goldfarb et Trefler (2018a) font observer que les technologies numériques comme l'IA ont des caractéristiques particulières qui rendent complexe l'évaluation de la structure des échanges à l'ère numérique. Ils mentionnent en particulier les économies d'échelle, les économies de gamme et les externalités de connaissances. Cette évaluation peut être facilitée par l'analyse de la façon dont les caractéristiques des pays interagissent avec ces trois éléments.

Il existe des économies d'échelle parce que la création et le maintien de compétences locales en matière d'IA coûtent cher et comportent un important élément de coût fixe. En outre, la qualité de la plupart des nouvelles technologies augmente de façon exponentielle avec l'échelle. Par exemple, les applications cartographiques sont d'autant plus fiables que le nombre d'utilisateurs fournissant des données sur la circulation routière est plus élevé, et les suggestions de recherche de Google s'améliorent avec chaque recherche effectuée par un internaute. Les économies de gamme résultent du fait que de nombreuses entreprises numériques fournissent des services différents dont chacune profite. Ces deux caractéristiques suggèrent que les facteurs qui attirent les entreprises de technologies numériques devraient aussi contribuer à l'avantage comparatif, car les économies d'échelle et de gamme constituent des obstacles naturels à l'entrée. Il est probable aussi que les technologies numériques comportent des externalités de connaissances, c'est-à-dire qu'elles bénéficient à un plus large éventail d'acteurs que le seul producteur qui ne tient pas compte de ces avantages, car les progrès dans ce domaine sont généralement partagés au moyen de publications ou de logiciels ouverts. Goldfarb et Trefler (2018a) estiment que les politiques qui favorisent l'avantage comparatif dans les secteurs à forte intensité numérique ne peuvent être efficaces que lorsque les externalités de connaissances restent locales. La question de savoir s'il en est ainsi est une question empirique ouverte.

Il est important de souligner à ce stade qu'un avantage comparatif dans un secteur implique, par définition, un désavantage comparatif dans un autre

secteur. Le commerce a tendance à augmenter les revenus et le bien-être dans tous les pays, indépendamment des secteurs où ils ont un avantage comparatif. De plus, de nombreux déterminants de la structure des échanges n'entrent pas dans le champ des politiques (par exemple la géographie) ou résultent de préférences régionales (par exemple en matière de respect de la vie privée). Par conséquent, même si la réglementation peut influencer l'avantage comparatif, il n'est pas optimal de rechercher un avantage comparatif dans un secteur particulier, et il vaut mieux profiter de l'avantage comparatif qui existe et créer un environnement dans lequel cet avantage peut se développer.

Compte tenu de cette réserve, la première partie de la présente sous-section examine l'effet des nouvelles technologies sur l'importance des sources traditionnelles d'avantage comparatif pour la structure des échanges. La deuxième partie analyse les nouveaux déterminants qui pourraient influencer les flux commerciaux futurs, tels que l'infrastructure numérique ou la réglementation relative aux données. Pour conclure, la troisième partie examine avec soin ce que cela signifie pour l'évolution future de la structure des échanges dans les pays développés et dans les pays en développement.

(i) *Les nouvelles technologies, une source d'avantage comparatif comme les autres ?*

Le rôle des sources traditionnelles d'avantage comparatif dans la structure des échanges changera-t-il à l'ère numérique et quelles seront les conséquences pour les pays à différents stades de développement ? Traditionnellement, les flux commerciaux ont été déterminés par les différences entre les pays en termes de dotation en main-d'œuvre et en capital, par les différences de productivité relative, par la géographie, par l'infrastructure ou par des facteurs institutionnels. Les nouvelles technologies pourraient modifier cette structure des échanges bien établie dans la mesure où les robots influent sur l'offre de main-d'œuvre et où la numérisation du commerce rend la géographie et l'infrastructure moins pertinentes, ou éventuellement plus pertinentes. Les pays verront donc leur panier d'exportations se développer et se modifier en fonction de ces changements.

En ce qui concerne la dotation en facteurs, les pays qui ont beaucoup de main-d'œuvre qualifiée et de capital auront probablement un avantage comparatif dans certains secteurs à forte intensité numérique. L'un des thèmes courants de la littérature économique est le changement technologique biaisé, qui est

étudié dans le Rapport sur le commerce mondial 2017 (OMC, 2017d). Les données actuelles indiquent que le changement technologique a été biaisé surtout contre les tâches routinières, ce qui veut dire qu'il réduit la demande de main-d'œuvre dans ce type d'activités. Les tâches manuelles et complexes, en revanche, ont bénéficié de l'innovation. Toutefois, les données présentées dans OMC (2017d) indiquent aussi que les technologies numériques touchent un ensemble d'activités de plus en plus large et augmentent la demande de main-d'œuvre très qualifiée. De plus, en remplaçant dans une certaine mesure la main-d'œuvre, les technologies numériques sont également considérées comme biaisées en faveur du capital, comme le montre l'analyse sur la diminution de la part des revenus du travail dans le Rapport de 2017. En conséquence, les produits à forte intensité numérique nécessitant une main-d'œuvre très qualifiée sont exportés principalement par les économies qui ont des niveaux élevés de capital et d'éducation.

Dans un scénario plus extrême et futuriste, l'IA avancée, la fabrication additive et la robotique pourraient en arriver à exclure la dotation en main-d'œuvre comme déterminant de la structure des échanges. À mesure qu'elles se développent et deviennent moins coûteuses, les technologies pourraient remplacer les travailleurs à tous les niveaux de qualification et, comme l'offre de robots intelligents et d'imprimantes 3D peut devenir illimitée, cela conduirait à une égalisation de la dotation en main-d'œuvre dans le monde entier. Cependant, comme les robots ne génèrent pas de demande additionnelle, les flux commerciaux déterminés par les différences de dotation en main-d'œuvre pourraient se tarir, ce qui aurait des conséquences considérables pour la structure des échanges. Sur le chemin conduisant à ce résultat extrême, il est probable que la structure des échanges évoluera avec les qualifications et avec l'adoption de la fabrication additive et des robots dans tous les secteurs. La figure B.20 indique à cet égard que le commerce des automobiles sera le premier touché, suivi par l'électronique et les métaux.

L'effet des technologies numériques sur la pertinence de la deuxième source classique d'avantage comparatif, les différences de technologie, est moins clair. Ces différences sont souvent liées aux dépenses et à la politique de recherche-développement (R&D) (Costinot *et al.*, 2012 ; Griffith *et al.*, 2004 ; Goldfarb et Trefler, 2018a). À cet égard, la question centrale soulignée par Goldfarb et Trefler (2018a) est de savoir si les externalités de connaissances et les retombées de la R&D dans les technologies numériques sont circonscrites aux frontières nationales ou s'étendent au-delà. Autrement dit, est-il aisé, à l'ère des CVM

et de la migration des travailleurs très qualifiés, de maintenir les résultats de la recherche et le savoir-faire à l'intérieur des pays qui innovent ? Les externalités de connaissances qui transcendent les frontières faciliteraient un éventuel bond en avant technologique des pays en développement et gommeraient les différences en matière de technologie. Mais si les externalités des connaissances numériques sont confinées à l'intérieur des frontières, les avantages existants des économies à revenu élevé en matière d'innovation persisteront probablement et conféreront à ces économies un avantage comparatif durable dans les secteurs à forte intensité numérique.

L'infrastructure énergétique est une source d'avantage comparatif dont le rôle a des chances de croître dans les secteurs à forte intensité numérique. Les batteries de serveurs nécessaires pour soutenir les technologies numériques dépendent de dispositifs de stockage et d'alimentation électrique et de systèmes de refroidissement qui consomment de grandes quantités d'énergie. Van Heddeghem *et al.* (2014) estiment que les réseaux de communication, les ordinateurs personnels et les centres de données ont été à l'origine d'environ 5% de la consommation mondiale d'électricité en 2012, soit une augmentation d'environ 20% depuis 2007. Sur la base du rapport sur la durabilité 2013 de Facebook, Burrington (2015) montre que les centres de données de Facebook consomment à eux seuls autant d'énergie que le Burkina Faso et, comme on l'a vu dans la section B.1 b), le réseau Bitcoin absorbe à lui seul autant d'électricité qu'un pays de la taille de l'Irlande.

La taille du marché est un autre facteur qui deviendra plus important pour la structure des échanges à l'ère numérique, en raison des énormes économies d'échelle et de gamme qui existent dans les secteurs à forte intensité numérique. Comme on l'a vu plus haut, Goldfarb et Trefler (2018a) expliquent en quoi l'accès à une grande quantité d'informations est avantageux pour les entreprises qui utilisent les technologies numériques, en particulier l'IA. Par conséquent, lorsque ces entreprises qui disposent d'un marché intérieur plus vaste entrent sur des marchés d'exportation, elles sont plus compétitives que celles qui viennent de marchés plus petits et qui ont moins accès à l'information. Cela peut expliquer en partie la domination des entreprises chinoises et américaines dans les secteurs à forte intensité numérique, et cela indique aussi que les grandes économies en développement ont la possibilité d'entrer dans ces secteurs.

En revanche, les processus à la frontière, les facteurs géographiques et l'infrastructure matérielle, à l'exception de l'infrastructure de télécommunication

et de l'infrastructure énergétique pourraient perdre de l'importance pour les pays éloignés ou sans littoral, et pour ceux dont l'infrastructure matérielle et les procédures douanières sont sous-développées et qui souhaitent entrer sur de nouveaux marchés. Comme les produits sont de plus en plus fournis par voie numérique et que les CVM pourraient devenir plus courtes (voir la section C.2 c)), le commerce dépendra de moins en moins des routes, des ports, des aéroports et des chemins de fer, ce qui neutralisera une partie des gains de compétitivité des pays à revenu élevé dans les secteurs et les tâches à forte intensité numérique. Toutefois, la section C.2 c) examine aussi un scénario dans lequel les CVM s'allongent. Les nouvelles technologies rendent la logistique et les transports plus efficaces, les consommateurs préfèrent des produits plus personnalisés et le commerce électronique rapproche les marchés les uns des autres, ce qui entraîne une « parcellisation » du commerce (voir l'encadré C.4). Par conséquent, l'infrastructure et les facteurs géographiques resteront importants pour les produits à forte intensité numérique qui sont déjà échangés physiquement.

On peut s'attendre à ce que la numérisation du commerce augmente l'importance des facteurs institutionnels formels et informels contribuant à l'avantage comparatif. Le rôle des institutions juridiques qui mesurent la capacité des pays à faire exécuter les contrats augmentera dans la mesure où elles interagissent avec d'autres domaines de politique publique. Par exemple, la confidentialité des données et la réglementation des DPI reposent sur un respect crédible. En conséquence, leur efficacité dépendra en fin de compte de la solidité des institutions juridiques des pays concernés. Il en va de même pour les institutions financières qui peuvent faciliter l'accès aux capitaux, et donc aux investissements dans l'infrastructure et le matériel nécessaires. En revanche, la réglementation du marché du travail pourrait devenir moins importante, car les robots et les imprimantes 3D seront moins protégés par les droits du travail. Enfin, il est établi que les institutions informelles jouent également un rôle. Lanz *et al.* (2018), parmi d'autres, montrent que les réseaux de migrants peuvent se substituer aux institutions formelles pour faire exécuter les contrats et remédier aux asymétries de l'information.

Dans le même temps, les nouvelles technologies peuvent réduire le rôle des institutions et faciliter le commerce des pays dont les institutions sont faibles. Comme on l'a vu dans la section C.1, des technologies comme la chaîne de blocs permettent de contourner les intermédiaires dans le commerce et de réduire la demande d'institutions chargées de

faire respecter les contrats. Il est établi aussi que les données normalisées fournies par les technologies numériques peuvent réduire l'importance de la confiance et de la réputation dans les transactions en ligne (Agrawal *et al.*, 2016). Les auteurs constatent que cela peut en particulier stimuler les exportations de produits numérisables des économies en développement.

(ii) *Nouveaux déterminants de la structure des échanges à l'ère numérique*

Non seulement les technologies numériques modifient le rôle des déterminants traditionnels, mais elles créent de nouveaux déterminants de la structure des échanges. Par exemple, à mesure que le rôle de l'infrastructure matérielle diminuera pour certains secteurs, l'infrastructure numérique deviendra de plus en plus importante pour le commerce numérique. De même, comme la réglementation du marché du travail pourrait devenir moins importante pour l'avantage comparatif, la réglementation des flux de données prendra de l'importance. L'importance de la réglementation apparaît dans des accords commerciaux récents ou des annonces de politique commerciale qui comportent des chapitres de fond sur la protection de la PI et le commerce électronique, lesquels sont examinés dans la section D. La façon dont ces nouveaux domaines influenceront sur l'avantage comparatif dans les tâches et les secteurs à forte intensité numérique déterminera à l'avenir la structure des échanges dans ces activités.

Les politiques en matière de confidentialité, de protection des données personnelles et de restriction des contenus Internet joueront un rôle important à cet égard. Du point de vue économique, la limitation de la capacité des entreprises de collecter des données et de les assigner à des utilisateurs individuels peut restreindre les économies d'échelle et de gamme et faire obstacle à la compétitivité dans les secteurs à forte intensité numérique. Goldfarb et Tucker (2010), par exemple, montrent que le durcissement des lois européennes sur la protection de la vie privée en 2004 a réduit de 65% l'efficacité de la publicité en ligne en Europe par rapport aux États-Unis. De même, Miller et Tucker (2011) montrent que les différences des lois sur la protection des données médicales entre les États des États-Unis peuvent expliquer les différences de taux de mortalité néonatale, car des lois strictes empêchent l'accès aux dossiers médicaux électroniques.

Il en va de même pour les restrictions visant les contenus Web mises en place par certains pays. Les pays qui bloquent certains sites Web ou certains contenus limitent la capacité des entreprises de

comprendre les préférences des consommateurs. Et, plus important encore, le blocage de contenus peut réduire les incitations à investir dans des produits à forte intensité numérique et à les produire. Zhang et Zhu (2011) présentent des données qui montrent que le blocage de Wikipédia en chinois dans la Chine continentale a considérablement réduit les contributions en chinois non bloquées au Taipei chinois ; à Hong Kong, Chine ; à Singapour et dans d'autres régions du monde, car la récompense, en l'occurrence les avantages sociaux de l'ajout de contenus, a été réduite.

Les données présentées ci-dessus tendent à montrer que les règlements relatifs au respect de la vie privée, à la protection des données personnelles et aux restrictions visant les contenus Web peuvent avoir un effet sur l'avantage comparatif dans les secteurs à forte intensité numérique. Dans d'autres domaines des politiques publiques, comme la réglementation environnementale ou la politique fiscale, ces observations ont amené à examiner la tendance au nivellement par le bas en matière de réglementation. Toutefois, les données empiriques étayant un tel résultat dans ces domaines sont limitées (Mendoza et Tesar, 2005 ; Copeland, 2013). Une exception concerne le domaine de la réglementation du travail, où Olney (2013) et Davies et Vadlamannati (2013) constatent que l'abaissement des normes du travail dans un pays peut entraîner un changement analogue dans les pays voisins. Par conséquent, l'affaiblissement de la protection de la vie privée et des données personnelles dans un pays pour gagner en compétitivité dans les secteurs numériques peut amener d'autres pays à faire de même.

En revanche, selon l'hypothèse de Porter (Porter et van der Linde, 1995), concernant la réglementation environnementale, des normes strictes peuvent en fait augmenter la productivité et l'innovation et conférer par conséquent un avantage comparatif. Cette hypothèse pourrait s'appuyer sur les effets de sélection qui font que la réglementation réoriente les ressources vers les entreprises les plus innovantes et les plus productives en excluant du marché les entreprises les moins productives (Qiu *et al.*, 2017). Bien que les données empiriques dans ce domaine ne sont pas concluantes (Ambec *et al.*, 2013), un tel mécanisme pourrait permettre aux pays de combiner une réglementation stricte et un avantage comparatif dans les secteurs à forte intensité numérique.

Comme la réglementation relative à la protection des données et de la confidentialité est encore balbutiante dans de nombreux pays, il est difficile de prévoir l'effet que les différences dans ce domaine auront sur la structure des échanges. Les données empiriques

tendent à montrer que l'Union européenne a des normes relativement élevées en matière de protection des données et de confidentialité, l'Espagne et l'Allemagne étant particulièrement strictes. Singapour et la République de Corée ont également adopté des règlements visant à protéger la vie privée, et plusieurs États d'Amérique du Sud ont adopté des lois en la matière pour se conformer à la réglementation européenne. Par contre, les lois de l'Australie et des États-Unis sont jugées moins strictes (Gustke, 2013). La section D examinera ces données plus en détail.

Contrairement à la réglementation relative au respect de la vie privée, à la protection des données personnelles et à la restriction des contenus Web, Goldfarb et Trefler (2018a) soulignent que les politiques en matière de localisation des données et d'accès aux données des pouvoirs publics ont tendance à imposer des coûts principalement aux entreprises étrangères. En général, ces politiques restreignent le transfert transfrontières de données individuelles ou limitent aux entreprises nationales l'accès aux données collectées par les pouvoirs publics. Cela signifie que, lorsque les lois sur le respect de la vie privée permettent de recueillir des données, l'accès à ces données et leur utilisation ne sont possibles qu'au niveau national. En conséquence, les lois strictes sur la localisation des données et l'accès limité aux données collectées par les pouvoirs publics limitent les économies d'échelle pour les entreprises étrangères et peuvent nécessiter l'établissement de filiales et de serveurs locaux. Si les technologies numériques ont des retombées locales en termes de connaissances, cela peut stimuler la compétitivité du marché intérieur dans les secteurs à forte intensité numérique. Toutefois, Ferracane et van der Marel (2018) et Ferracane *et al.* (2018) fournissent des éléments qui montrent que les restrictions des flux de données, comme la réglementation de la localisation des données, entraînent une diminution du commerce des services via Internet et une baisse de la productivité, ce qui nuit à la compétitivité.

La réglementation des DPI prendra nécessairement de l'importance, elle aussi, à l'ère numérique, car de nombreux produits numériques peuvent être reproduits gratuitement et sont de nature non rivale. Cela veut dire qu'ils peuvent être consommés en même temps par un nombre infini de personnes sans perdre leur utilité. Pour garantir des prix rentables aux producteurs, il faut des DPI stricts que l'on peut faire respecter. Cela peut rendre un pays plus attractif pour les entreprises du numérique. Goldfarb et Tucker (2017) passent en revue des données qui montrent que le manque de moyens pour faire respecter le droit d'auteur a entraîné une baisse des recettes dans les secteurs de la musique, du cinéma et de l'édition

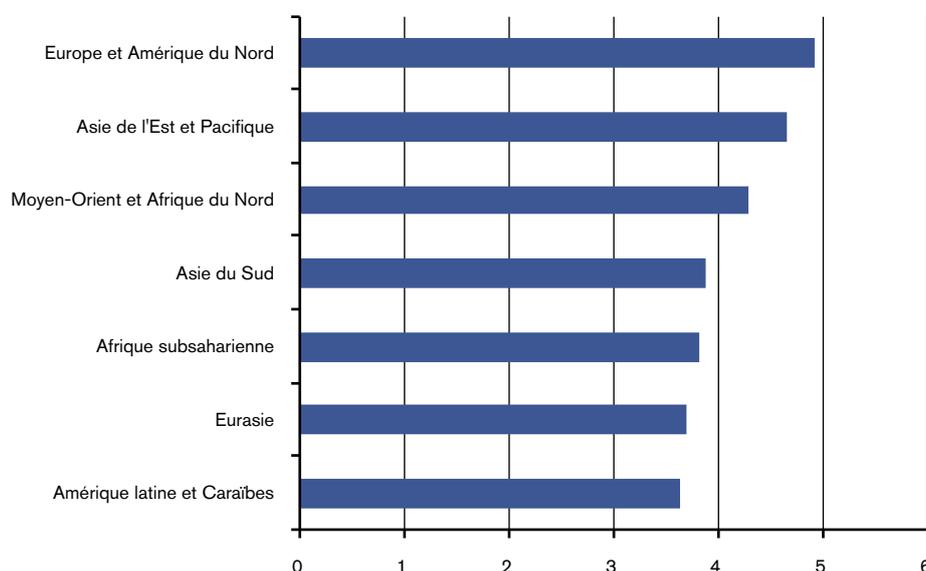
(voir l'encadré B.2). Mais les auteurs examinent aussi la littérature qui montre que des politiques strictes en matière de DPI peuvent restreindre la création de produits numériques et leur qualité en limitant l'accès ou en augmentant le coût des redevances. La question de savoir si la réglementation en matière de DPI augmente ou réduit la compétitivité dans les secteurs numériques est donc finalement d'ordre empirique. Les données préliminaires présentées dans l'appendice C.2 indiquent que des DPI plus stricts stimulent les exportations des secteurs à forte intensité de PI, en particulier dans les pays où la protection de la PI est relativement moins rigoureuse.

À propos des différences entre les lois des pays relatives aux DPI, Park (2008) établit un indice des droits de brevet pour 122 économies pour la période allant de 1960 à 2005. Cet indice combine des données sur le champ d'application des droits (secteurs exclus de la brevetabilité) ; l'adhésion à des traités internationaux ; la durée de la protection ; les moyens de faire respecter les droits ; et les restrictions aux DPI. Selon cet indice, les pays qui avaient les DPI les plus stricts en 2005 étaient des membres de l'OCDE, mais l'Afrique du Sud, la Bulgarie, les Philippines et Singapour avaient aussi des valeurs élevées. Les États-Unis étaient au premier rang, avec une valeur de 4,88 sur un maximum de 5.

Des données plus récentes sont disponibles dans la base de données du Rapport sur la compétitivité mondiale du Forum économique mondial (WEF), qui est mise à jour tous les ans et qui va actuellement jusqu'en 2018. À la différence de Park (2008), cette base de données repose sur des enquêtes. En 2017, la Suisse avait la meilleure note, devant la Finlande, le Luxembourg et Singapour. Globalement, la figure C.19 montre que les économies d'Europe et d'Amérique du Nord ainsi que celles d'Asie de l'Est et du Pacifique ont des politiques strictes en matière de DPI, tandis que les valeurs de l'indice sont faibles pour l'Amérique latine et les Caraïbes. Toutefois, les agrégations régionales ont tendance à masquer une grande hétérogénéité à l'intérieur des régions. Par exemple, le Chili, la Colombie, le Costa Rica et le Panama ont tous une protection des DPI plus forte que le pays médian de l'échantillon.

Passons maintenant de la politique à l'infrastructure. À l'ère numérique, un réseau à large bande haut débit fiable, complet et abordable sera un facteur essentiel de compétitivité. Par exemple, la quantité de données nécessaire pour l'IdO demandera de gros investissements dans l'infrastructure numérique. À mesure que le contenu numérique des activités manufacturières augmentera, un accès à large bande de grande qualité deviendra nécessaire pour assurer la compétitivité dans tous les secteurs qui dépendent fortement des technologies numériques

Figure C.19 : Indice de protection de la propriété intellectuelle



Source : WEF, historique de l'indice de compétitivité mondiale.

Notes : Protection de la PI mesurée par l'Enquête d'opinion du WEF auprès des grands dirigeants d'entreprises 2016/17.

(voir aussi l'encadré B.1 sur le rôle clé du secteur des télécommunications). Yi (2013) constate que, pour 21 pays de l'OCDE, un meilleur accès à large bande confère un avantage comparatif dans les secteurs où l'activité est moins routinière. Elle avance que les TIC complètent les travailleurs qui accomplissent des tâches non routinières et peuvent donc accroître la compétitivité dans ces tâches. Étant donné que les technologies numériques impliquent de nombreuses tâches non routinières, l'accès à large bande deviendra de plus en plus important.

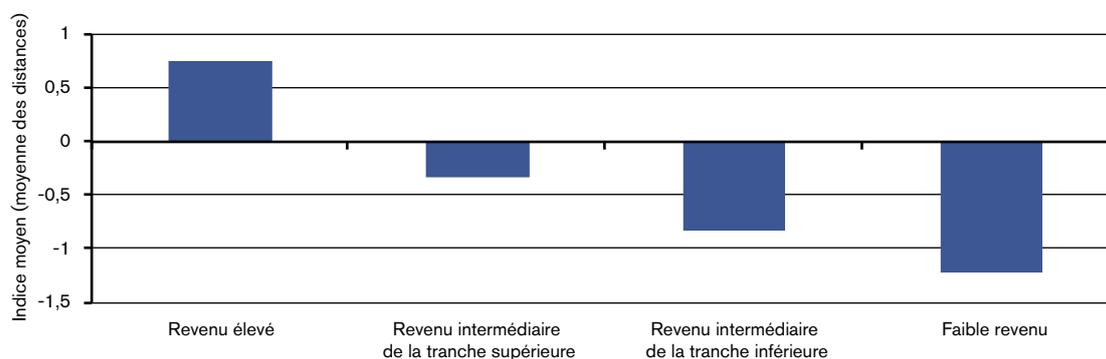
Pour connaître la qualité de l'accès à large bande dans les différentes régions, on peut examiner les indicateurs des abonnements large bande et de la vitesse haut débit, pour l'accès fixe et l'accès mobile ; ces données proviennent de l'Union internationale des télécommunications (UIT) et du site www.speedtest.net. Si l'on combine ces quatre indicateurs en un seul indice, on voit que l'accès large bande est fortement corrélé au revenu au niveau national comme le montre la figure C.20. La figure C.21 indique aussi, du point de vue régional, que l'Amérique du Nord est la mieux préparée pour l'ère numérique, tandis que l'Asie du Sud, l'Afrique subsaharienne et l'Amérique latine et les Caraïbes sont en retard et gagneraient à investir davantage dans leurs réseaux à large bande s'agissant de l'avantage comparatif dans les activités à forte intensité numérique.

(iii) Résumé : l'avantage comparatif à l'ère numérique

Les progrès des technologies numériques créent des possibilités et des défis pour les pays en développement comme pour les pays développés. Les technologies numériques ont rapidement été intégrées dans de nombreux secteurs, mais à des degrés divers. Cela signifie que la structure des échanges se transformera à mesure que l'importance des sources traditionnelles d'avantage comparatif changera et que de nouvelles sources apparaîtront. Il est difficile par définition de dire comment ces différentes forces agiront ensemble et détermineront la structure future des échanges dans les secteurs à forte intensité numérique. On ne dispose pas de données empiriques rigoureuses sur la force relative des différents facteurs d'avantage comparatif qui ont été examinés ici, car de nombreuses nouvelles technologies, comme les voitures autonomes ou l'IdO, ne sont pas encore largement adoptées. Une évaluation approximative est possible, mais devrait être considérée comme purement indicative, parce que ces nouvelles forces agissent parfois dans des directions différentes et qu'on ne sait pas avec certitude quels effets domineront à l'avenir.

Cette évaluation préliminaire donne à penser que plusieurs nouvelles sources d'avantage comparatif

Figure C.20 : Indice d'accès à la large bande, pays groupés en fonction du revenu



Source : Calculs des auteurs, données UIT des indicateurs des télécommunications/TIC dans le monde et speedtest.net.

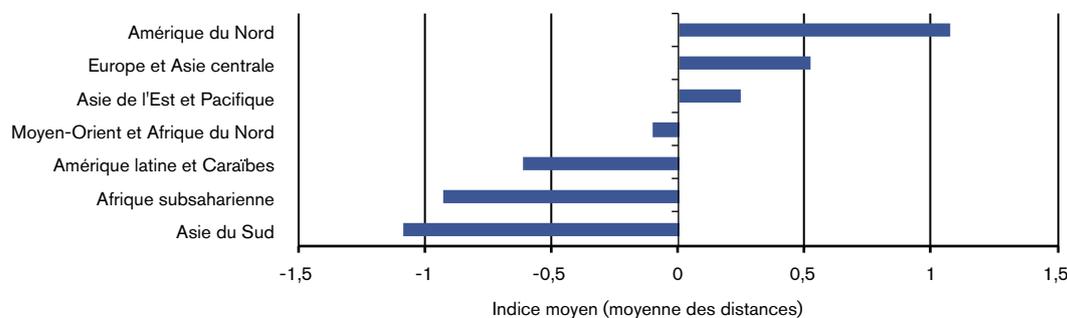
Notes : L'indice combine quatre indicateurs qui rendent compte de la diffusion et de la vitesse des connexions Internet à large bande fixes et mobiles, définies par l'UIT comme étant les réseaux qui offrent une vitesse de téléchargement d'au moins 256 kbit/s. C'est la moyenne des distances entre la valeur d'un pays et la moyenne de l'indicateur respectif, normalisée par la moyenne. Une valeur d'indice positive indique un accès large bande supérieur à la moyenne. Les groupes de revenu sont définis par la Banque mondiale.

pourraient permettre aux économies à revenu élevé de devenir des exportateurs nets de tâches et de secteurs à forte intensité numérique et renforcer par conséquent la structure actuelle des échanges. Les activités de haute technologie resteraient dans les économies développées et représenteraient une part importante de leurs paniers d'exportations. Ces économies disposent généralement d'un important stock de capital et d'un grand nombre de travailleurs qualifiés. En outre, les restrictions des contenus sur Internet y sont rares et l'infrastructure à large bande y est généralement bien développée. Cela, combiné à de solides institutions formelles et informelles, devrait leur conférer un avantage comparatif dans les secteurs à forte intensité numérique, conclusion qui ressort aussi de l'analyse de la fracture numérique dans la section B.1 d) ou d'évaluations telles que

le rapport du WEF Readiness for the Future of Production qui mentionne presque exclusivement des économies à revenu élevé parmi les pays leaders (WEF, 2018b).

Toutefois, plusieurs pays en développement pourraient aussi être en mesure de gagner des parts de marché dans ces activités. Les sources traditionnelles d'avantage comparatif pour lesquelles les économies en développement pourraient accuser un retard perdront probablement de l'importance pour certains types de produits. Quand le commerce se numérise, une infrastructure sous-développée et des procédures à la frontière inefficaces peuvent être moins handicapantes. De même, les progrès des technologies comme la chaîne de blocs peuvent permettre de compenser de faibles capacités d'exécution des

Figure C.21 : Indice de l'accès large bande, par groupe géographique



Source : Calculs des auteurs, données UIT des indicateurs des télécommunications/TIC dans le monde et speedtest.net.

Notes : L'indice combine quatre indicateurs qui représentent la diffusion et la vitesse des connexions Internet à large bande fixes et mobiles, définies par l'UIT comme étant les réseaux qui offrent une vitesse de téléchargement d'au moins 256 kbit/s. C'est la moyenne des distances entre la valeur d'un pays et la moyenne de l'indicateur respectif, normalisée par la moyenne. Une valeur d'indice positive indique un accès large bande supérieur à la moyenne. Les groupes géographiques sont définis par la Banque mondiale.

contrats. Un autre aspect essentiel des technologies numériques est qu'elles amplifieront les économies d'échelle et de gamme. Les principaux bénéficiaires de cette évolution pourraient être les grandes économies en développement. La taille du marché créera en soi de la compétitivité dans certains secteurs et pourrait contrebalancer des résultats insuffisants dans d'autres domaines. Enfin, les externalités de connaissances allant au-delà des frontières peuvent faciliter les bonds technologiques, comme cela a déjà été le cas pour la technologie financière au Kenya (voir l'article d'opinion de Wim Naudé, Université de Maastricht, UNU-MERIT, et IZA Institute for Labor Economics, page 51).

Des données montrant que les technologies numériques aident déjà les pays en développement à exporter des produits à forte intensité numérique ont été fournies récemment par Loungani *et al.* (2017). Ces auteurs constatent que, si les pays développés sont à l'origine de la majorité des exportations de services basés (potentiellement) sur les technologies numériques, c'est dans les pays en développement que ces exportations ont le plus augmenté. Certains pays en développement ont établi de solides positions comme exportateurs de services liés aux TIC. L'Inde, par exemple, est le premier exportateur de services informatiques, avec environ 53 milliards de dollars EU d'exportations en 2016, tandis que les Philippines ont exporté des services liés aux TIC pour un montant de 5 milliards de dollars EU, ce qui les place parmi les 20 premiers exportateurs mondiaux de ces services.

En résumé, les nouvelles technologies peuvent profiter au commerce dans tous les pays, quel que soit leur stade de développement. L'innovation continuera à déterminer la structure des échanges ; elle offre donc de vastes possibilités aux pays en développement comme aux pays développés. Cela nécessite assurément un niveau minimum de facteurs, tels que la main-d'œuvre qualifiée, le capital, l'infrastructure numérique et des institutions de qualité, mais, pour autant que ce niveau soit assuré, les pays pourront bénéficier des nouveaux gains que procurera le commerce.

(c) Les technologies numériques et les CVM : un avenir incertain

Dans les CVM, les produits intermédiaires sont externalisés et la production est fragmentée dans divers pays. Le phénomène des CVM est apparu dans les années 1970,¹⁸ et s'est intensifié à partir du milieu des années 1990 jusqu'à la fin des années 2000.¹⁹ Au cours des années 2000, la valeur et la complexité des flux commerciaux associés aux CVM ont augmenté (voir la figure C.22). La crise financière mondiale de 2008 a provoqué un effondrement du commerce international, qui a été modérément amplifié par les

CVM.²⁰ Alors que le commerce dans les chaînes de valeur a rebondi après la crise, il a de nouveau ralenti au cours des dernières années (comme le montrent les deux derniers points de données de la figure C.22).

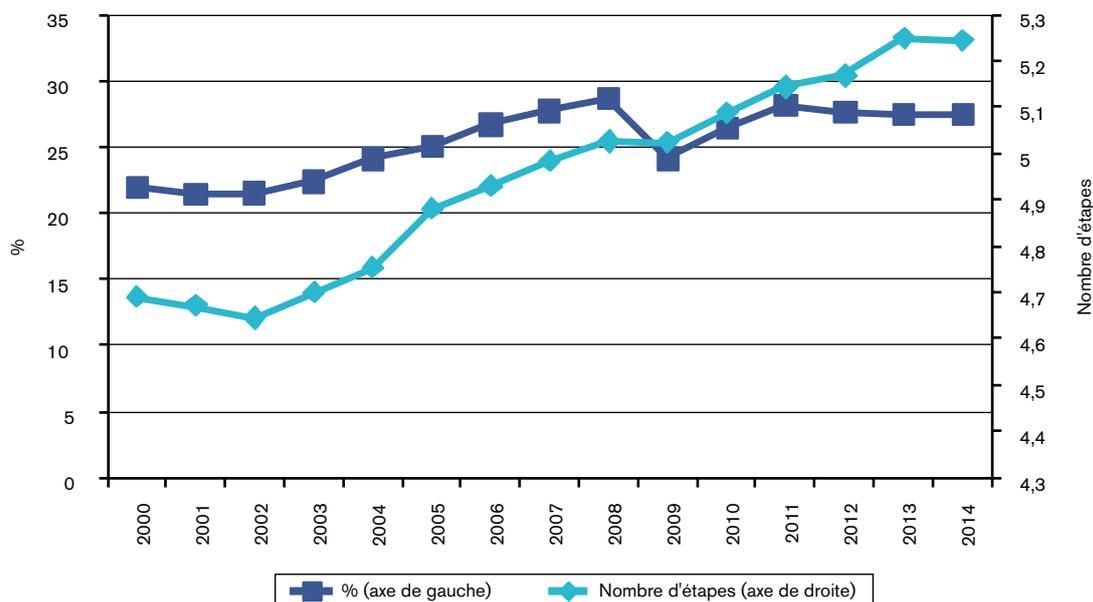
L'objectif de cette section est d'évaluer le rôle de la technologie dans la dynamique des CVM. Elle donne en particulier des indications sur la façon dont les technologies numériques qui font l'objet du présent rapport peuvent aider à expliquer les schémas décrits plus haut et sur le point de savoir si le ralentissement actuel dans les CVM pourrait perdurer ou si l'on peut s'attendre à une nouvelle expansion des CVM.

(i) La technologie est un moteur essentiel des CVM

La technologie est l'un des principaux déterminants de la fragmentation internationale de la production dans les CVM.²¹ Comme l'expliquent Amador et Cabral (2016), il faut une technologie adéquate pour combiner en un produit final sophistiqué des pièces et des composants fabriqués dans différents endroits et, plus généralement, pour coordonner et gérer des activités de production dispersées. Cette coordination et cette gestion sont assurées par des services à forte intensité technologique. Les services de gestion et les services de TI synchronisent le processus de production mondial ; les services de transport acheminent les pièces et les composants entre les installations de production ; et les services de commercialisation et de vente assurent la vente des produits de la manière la plus appropriée sur différents marchés nationaux.

C'est pourquoi, les analyses théoriques des CVM soignent le rôle de la technologie et des services qu'elle permet de fournir dans leur développement. La dissociation spatiale de la production et de la consommation (la « première dissociation » selon les termes de Baldwin, 2006) qui s'est produite à la fin du XIX^e siècle a été rendue possible non seulement par la forte baisse des coûts de transport due à la machine à vapeur (Baldwin, 2006), mais aussi par la diminution des coûts de communication due au télégraphe (Juhász et Steinwender, 2018).²² La dissociation spatiale des étapes de la production auparavant regroupées dans les usines et les bureaux (« deuxième dissociation ») qui a eu lieu dans les années 1990 est due en grande partie à la forte baisse des coûts de communication et de coordination, ou du « coût de transmission des idées » selon l'expression de Baldwin, provoquée par la révolution des TIC. Comme les coûts de communication et de coordination sont tombés au-dessous des avantages en matière de coût attendus de la spécialisation, des économies d'échelle et des différences de coûts de main-d'œuvre, les

Figure C.22 : Valeur et longueur des CVM, 2000-2014 (% et nombre d'étapes)



Source : Timmer *et al.* (2016), Degain *et al.* (2017).

Notes : Les valeurs des CVM sont mesurées par l'intensité d'importation mondiale, calculée comme le ratio des « importations des CVM » (importations nécessaires à n'importe quelle étape de la production d'un produit final ou d'un service) à la valeur du produit final (Timmer *et al.*, 2016). La longueur des CVM est le nombre moyen d'étapes du processus de production des CVM « complexes » – défini comme étant la valeur ajoutée nationale incorporée dans les exportations de produits intermédiaires et utilisée par un pays partenaire pour fabriquer des produits (intermédiaires ou finals) exportés vers d'autres pays (Degain *et al.*, 2017).

entreprises ont jugé plus intéressant d'organiser leurs processus de production à l'échelle internationale (De Backer et Flaig, 2017).

Les travaux de Baldwin et Venables (2013) montrent en outre que la technologie détermine fondamentalement la façon dont les différentes étapes de la production sont liées entre elles. Les processus de production dans lesquels des pièces et des composants multiples sont assemblés sans ordre particulier (appelés « araignées » par les auteurs) diffèrent des processus de production dans lesquels les produits passent de façon séquentielle des étapes d'amont aux étapes d'aval dans les chaînes de valeur (appelés « serpents » par les auteurs) en raison des exigences d'ingénierie intrinsèques (c'est-à-dire technologiques).²³

(ii) Les technologies numériques auront des effets opposés sur les CVM

Les technologies numériques ont, et auront à l'avenir, des effets ambigus sur le commerce dans le cadre des CVM. Cette sous-section examine les mécanismes par lesquels les diverses technologies numériques peuvent accroître ou réduire le commerce dans les chaînes d'approvisionnement, en commençant par les

mécanismes qui suggèrent un lien positif entre les technologies numériques et le commerce dans les chaînes d'approvisionnement.

Comment les technologies numériques peuvent-elles accroître le commerce dans les chaînes d'approvisionnement ?

Les technologies numériques peuvent accroître le commerce dans les CVM de deux façons. Premièrement, comme on l'a expliqué dans la section C.1, l'adoption des technologies numériques peut réduire les coûts qui ont un effet négatif sur les CVM. Deuxièmement, les technologies numériques peuvent améliorer la qualité et la disponibilité des services qui permettent aux chaînes de valeur de fonctionner ou qui sont utilisés comme intrants dans la production de biens.

Le commerce dans les CVM est particulièrement sensible aux coûts de communication, aux coûts de transport et de logistique et aux coûts d'appariement et de vérification. En effet, plus ces coûts sont élevés, plus il est difficile de coordonner des tâches géographiquement dispersées. Les technologies qui réduisent ces coûts sont donc particulièrement favorables au commerce dans les CVM. L'amélioration des applications à large bande, la diffusion des

smartphones et les téléconférences, vidéoconférences et conférences virtuelles permettent de gérer des CVM plus longues et plus complexes en réduisant les coûts de communication.²⁴ Les technologies qui permettent de suivre plus facilement et pour un coût moindre le déplacement des composants le long de la chaîne d'approvisionnement, comme la technologie de radio-identification, réduisent les coûts de gestion des stocks²⁵ et simplifient la logistique (voir la section C.1 a). La technologie de la chaîne de blocs permet de réduire considérablement les coûts de vérification, ce qui peut accroître la transparence et le commerce le long des chaînes de valeur. Cette technologie peut aussi avoir des effets sur les coûts d'appariement entre les fournisseurs en amont et les acheteurs en aval. Ces coûts sont souvent liés au manque de confiance, problème qui ne se pose pas dans les transactions basées sur les chaînes de blocs. Par conséquent, l'approvisionnement le long des chaînes de valeur pourrait se diversifier davantage.²⁶

Le fait que certaines technologies numériques ont pour effet de réduire les coûts du commerce est particulièrement important dans les chaînes de valeur pour le commerce des produits finals et des services, car les coûts du commerce ont tendance à s'accumuler le long des chaînes de valeur, comme cela a été avancé pour la première fois par Yi (2003). Lorsque les chaînes d'approvisionnement exigent que des produits semi-ouvrés traversent des frontières internationales à plusieurs reprises, l'effet d'une variation marginale des coûts du commerce partout dans la chaîne d'approvisionnement est beaucoup plus important que s'il n'y avait qu'une transaction internationale. Ferrantino (2012) montre que, si les coûts du commerce s'appliquent proportionnellement à la valeur d'un bien, le coût total de la fourniture du produit au consommateur final à travers la chaîne d'approvisionnement augmente de manière exponentielle avec le nombre d'étapes de production. Dans la pratique, l'effet d'accumulation, même s'il existe, peut être inférieur à ce que laisserait penser une simple formule exponentielle, car deux facteurs l'atténuent : la topologie de la chaîne d'approvisionnement (il y a moins d'accumulation dans les « araignées » que dans les « serpents »), et le fait que les coûts du commerce doivent être fortement réduits avant que les CVM commencent à se développer (Diakantoni *et al.*, 2017).²⁷

Les technologies numériques peuvent aussi entraîner une augmentation du commerce dans les CVM à travers leurs effets sur les services. Les technologies numériques améliorent la qualité et la disponibilité de nombreux services intermédiaires (nationaux ou importés) qui jouent un rôle de facilitateur des CVM, par exemple les services informatiques, la R&D, la publicité, les télécommunications, les services financiers et les services professionnels.²⁸

Par ailleurs, comme on l'a expliqué dans la section C.2 b), les services sont des intrants importants pour la production de biens. La figure C.23 montre le contenu en valeur ajoutée de services des exportations des industries manufacturières pour les pays développés et les pays en développement en 1995 et en 2008. Les services représentent près du tiers des exportations de produits manufacturés dans les pays développés et 26% dans les pays en développement, la part de la valeur ajoutée des services étrangers (c'est-à-dire la valeur ajoutée provenant des services importés) étant supérieure à 11% pour les deux groupes de pays (Lanz et Maurer, 2015). Selon des études récentes, les services extérieurs et intérieurs (c'est-à-dire fournis en interne) représentent jusqu'à la moitié de la valeur ajoutée dans les exportations de produits manufacturés (Miroudot et Cadestin, 2017).²⁹

Les nouvelles technologies amplifieront ces estimations, car elles augmenteront encore la part des services dans la valeur des marchandises. La valeur des voitures autonomes, par exemple, sera de plus en plus déterminée par les logiciels qui commandent le volant. Le prix des réfrigérateurs intelligents sera déterminé plus par le coût de développement des logiciels utilisés que par celui des pièces et composants physiques. La part croissante de valeur ajoutée dans les exportations de produits manufacturés et la fourniture plus facile de services à distance (voir la section C.2 a)) entraîneront dans l'avenir, toutes choses égales par ailleurs, une augmentation du commerce dans les chaînes de valeur.

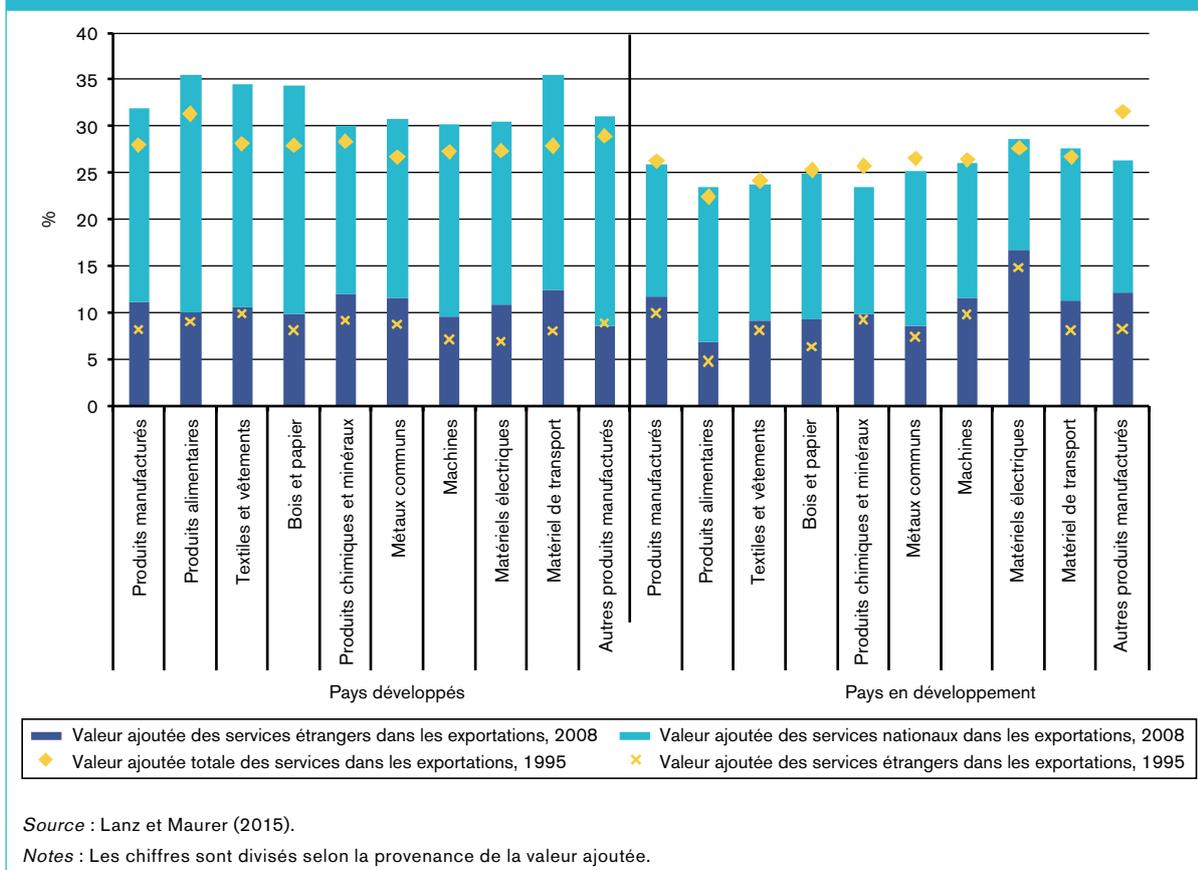
Les technologies numériques favorisent-elles la relocalisation ?

Le ralentissement récent des activités dans les CVM (tant en valeur qu'en longueur) qui est décrit ci-dessus peut s'expliquer par trois facteurs (Degain *et al.*, 2017) :

- (i) la tendance croissante à la protection dans le monde entier après la crise financière mondiale (Georgiadis et Gräb, 2016) ;
- (ii) le remplacement des intrants intermédiaires importés par des intrants intermédiaires produits localement dans les grandes économies émergentes comme la Chine,³⁰ et
- (iii) la relocalisation des fonctions de production ou d'autres fonctions des entreprises dans leur pays d'origine.

Dans ce qui suit, l'accent est mis sur la relocalisation, et notamment sur la manière dont les technologies numériques peuvent influencer sur ce phénomène.³¹

Figure C.23 : Contenu en valeur ajoutée de services des exportations des industries manufacturières, 1995 et 2008 (%)



Il n'est pas difficile de trouver des données empiriques sur la relocalisation. Dachs *et al.* (2017) citent l'exemple d'un fabricant autrichien de pièces métalliques. L'une des principales activités de production de cette entreprise est le lissage et le polissage de grandes pièces métalliques. Cette tâche, qui prend beaucoup de temps et exige entre 100 et 150 heures de travail par pièce, avait été initialement délocalisée en Hongrie. Récemment, l'entreprise a automatisé ce processus en installant un robot. Le robot, qui travaille 7 jours/7, 24 heures/24, a besoin de seulement 20 heures pour lisser et polir une pièce métallique. Cet énorme avantage en matière de productivité compense largement les écarts de salaire ayant motivé la décision de délocalisation. Par conséquent, l'investissement dans les robots a permis à l'entreprise de relocaliser cette tâche en Autriche et de concentrer ainsi à nouveau la production en un seul lieu. Comme il n'est plus nécessaire de transporter les pièces métalliques entre les deux pays, l'entreprise peut aussi prendre des commandes qu'elle n'aurait pas pu honorer auparavant en raison du temps nécessaire pour le transport entre les usines (Dachs *et al.*, 2017).

Aux États-Unis, des entreprises comme General Electric, Master Lock, Caterpillar, Whirlpool et Ford ont rapatrié certaines parties de leur production (Oldenski, 2015). A.T. Kearney (2015) mentionne 16 cas de relocalisation aux États-Unis en 2010, 64 en 2011, 104 en 2012, 210 en 2013 et 208 en 2014.

Toutes les données systématiques montrent cependant que, jusqu'à présent, la relocalisation a été un phénomène limité et qu'il n'y a pas de tendance significative. Dans un échantillon de 2 120 entreprises manufacturières d'Allemagne, d'Autriche et de Suisse ayant au moins 20 employés, provenant de l'European Manufacturing Survey, Dachs *et al.* (2017) constatent que la part des entreprises qui ont relocalisé leur production en 2013 ou 2014 n'était que de 3,8% et atteignait 10% si l'on considérait uniquement les entreprises ayant des activités de production à l'étranger. Si l'on considère tous les pays visés par l'enquête (Allemagne, Autriche, Danemark, Espagne, France, Hongrie, Pays-Bas, Portugal, Slovaquie, Suède et Suisse), environ 4% seulement des entreprises ont rapatrié leurs activités de production entre 2010 et le milieu de 2012 (De Backer *et al.*, 2016). Dans le cas du Royaume-Uni, l'Organisation

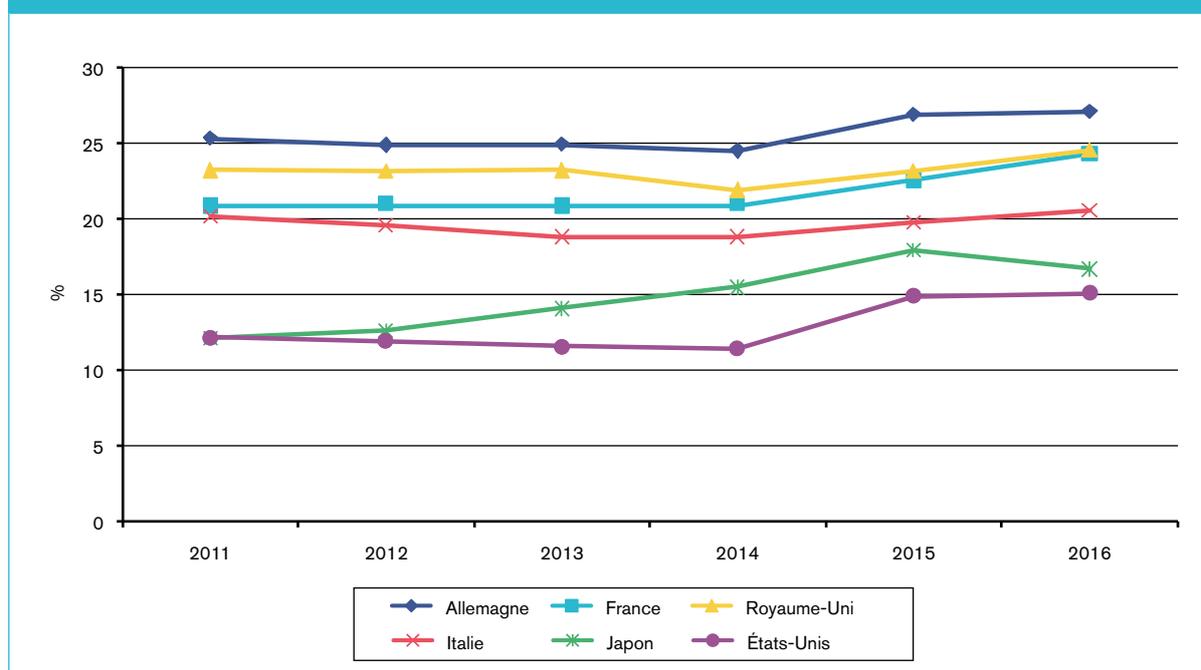
des fabricants (EEF)³² (2014) a indiqué qu'environ 15% des entreprises manufacturières avaient procédé à une relocalisation en 2013 (en ramenant la production dans leurs usines ou chez un fournisseur du Royaume-Uni). Pour les États-Unis, Oldenski (2015) examine, comme indicateur supplétif inverse de la relocalisation, les importations des entreprises multinationales implantées aux États-Unis en utilisant des données du Bureau de l'analyse économique des États-Unis. Tant les importations en provenance de filiales (commerce intragroupe) que les importations en provenance de sociétés non affiliées (commerce dans des conditions de pleine concurrence) ont affiché une tendance à la hausse entre 1999 et 2012, ce qui est une preuve de délocalisation plutôt que de relocalisation.³³

Le fait qu'il n'y a pas eu de tendance significative à la relocalisation est confirmé aussi par la figure C.24, qui montre l'évolution, entre 2011 et 2016, de la part de la valeur ajoutée étrangère dans la demande finale intérieure dans certaines économies avancées. La relocalisation serait associée à une diminution de cette part et à une augmentation correspondante de la part de la valeur ajoutée nationale, car les entreprises qui relocalisent acquièrent davantage

de valeur ajoutée dans le pays. Aux États-Unis, abstraction faite du fléchissement enregistré en 2008-2009 (correspondant à la Grande Récession), la tendance est légèrement négative entre 2011 et 2014 et devient ensuite positive, conformément à l'observation d'Oldenski (2015) selon laquelle les données disponibles pour les États-Unis indiquent plus de délocalisation que de relocalisation. Les résultats sont analogues pour les grandes économies européennes, à savoir l'Allemagne, la France, l'Italie et le Royaume-Uni. Le Japon est la seule grande économie avancée où la part de la valeur ajoutée étrangère dans la demande finale intérieure a diminué récemment. Toutefois, le recul enregistré entre 2015 et 2016 n'a pas inversé la tendance globalement positive depuis 2011.

Divers facteurs peuvent expliquer la lenteur de la relocalisation (CNUCED, 2016b). Il y a, tout d'abord, la faiblesse relative de la demande agrégée, et en particulier de l'investissement. Il se peut ensuite que les pays développés n'aient pas les réseaux de fournisseurs que certains pays en développement ont mis en place pour compléter les activités d'assemblage. Enfin, comme l'indique la poursuite des délocalisations, les écarts de coût du travail

Figure C.24 : Part de la valeur ajoutée étrangère dans la demande finale intérieure, 2011-2016 (%)



Source : Tableau des entrées-sorties internationales de la Banque asiatique de développement.

Notes : La part de la valeur ajoutée étrangère dans la demande finale intérieure est la part de la valeur ajoutée étrangère incorporée dans les biens ou les services finals achetés par les ménages, les administrations publiques et les institutions sans but lucratif au service des ménages, ou en tant qu'investissements. Elle montre comment les industries situées à l'étranger (en amont de la chaîne de valeur) sont reliées aux consommateurs nationaux, même s'il n'existe pas de relation commerciale directe, et elle peut être interprétée comme une « importation de valeur ajoutée ». Il faut noter que la part de la valeur ajoutée étrangère dans la demande finale intérieure est égale à au moins la part de la valeur ajoutée intérieure dans la demande finale intérieure.

ne sont pas le seul facteur qui entre en ligne de compte dans la décision des entreprises de localiser leur production à tel ou tel endroit. Les facteurs liés à la demande tels que la taille et la croissance des marchés locaux sont des déterminants de plus en plus importants. Il est donc peu probable qu'il y ait une relocalisation de la production de produits manufacturés à forte intensité de main-d'œuvre destinés aux marchés en pleine croissance des grands pays en développement qui ont des relations de production nationales (CNUCED, 2016b).

Les données qui infirment l'existence d'une tendance à la relocalisation ne signifient pas que le mode d'approvisionnement des entreprises multinationales ne changera pas dans l'avenir. L'exemple du producteur autrichien de pièces métalliques montre que les technologies d'automatisation peuvent conduire à la relocalisation. L'automatisation réduit la part des coûts de main-d'œuvre dans les coûts totaux. Comme les écarts de coût de main-d'œuvre sont les principaux déterminants de la délocalisation, leur diminution entraînera, toutes choses égales par ailleurs, davantage de relocalisation. L'automatisation n'a pas besoin d'être intelligente pour que ce mécanisme fonctionne. Mais, l'automatisation intelligente donne des raisons supplémentaires de relocaliser. Les robots intelligents ne sont pas seulement capables de travailler dans des « usines sans lumière », comme les robots traditionnels.³⁴ Ils peuvent aussi accomplir une plus large gamme de tâches manuelles relativement complexes et s'adapter à l'évolution des conditions (De Backer et Flaig, 2017). Dans des secteurs comme l'électronique grand public, les robots traditionnels peuvent ne pas être assez flexibles pour permettre d'adapter la production au cycle de vie court des produits (de sorte que la production est souvent manuelle), alors que les robots intelligents peuvent l'être. Cela pourrait inciter davantage à relocaliser la production à proximité des marchés plus grands et plus riches.³⁵

Dans ce contexte théorique, il y a très peu de données empiriques indiquant que les technologies numériques peuvent favoriser la relocalisation. De Backer *et al.* (2018) observent une association négative entre l'investissement dans la robotique et l'augmentation des délocalisations pour les économies développées pendant la période 2010-2014. Cela amène à se demander si les investissements dans la robotique entraîneront une relocalisation effective des activités dans les économies développées. Les données de De Backer *et al.* (2018) semblent indiquer que la réponse est négative, ce qui amène les auteurs à conclure que l'utilisation de robots n'entraîne pas (encore) la relocalisation des activités dans les économies développées. Inversement, dans une enquête portant sur 2 120 entreprises manufacturières d'Allemagne,

d'Autriche et de Suisse employant au moins 20 salariés, Dachs *et al.* (2017) constatent une relation positive entre la relocalisation et un indice de « préparation à l'industrie 4.0 ». ³⁶

Comme on le verra plus loin dans la section C.3, les simulations effectuées à l'aide du Modèle de commerce mondial de l'OMC produisent des résultats contrastés concernant l'effet des technologies numériques (mesuré par les variations du degré de numérisation et de robotisation selon les secteurs et les pays) sur la relocalisation. En particulier, si on utilise comme mesure de la relocalisation la part des importations intermédiaires dans la production brute, le résultat indique une relocalisation future. Au contraire, si on utilise comme mesure de la relocalisation la valeur ajoutée étrangère dans les exportations, il n'y a guère de changement par rapport au scénario de base. Cela indiquerait que la réorganisation des tâches de production due aux différents degrés de numérisation et de robotisation n'entraînera pas nécessairement un changement dans l'organisation des CVM.

Importance des scénarios futurs

Il a été dit jusqu'à présent que les technologies numériques auraient des effets ambigus sur les CVM. D'une part, les technologies qui aident à coordonner des tâches géographiquement dispersées rendront probablement les chaînes de valeur plus longues et plus complexes dans l'avenir. D'autre part, les technologies qui réduisent les coûts relatifs de la production intérieure par rapport à la production délocalisée pourraient entraîner une diminution du commerce dans les CVM.

Les perspectives sont incertaines, non seulement parce que les différentes technologies numériques ont des effets différents, mais aussi parce que la même technologie pourrait augmenter ou réduire le commerce dans les CVM, selon les scénarios d'adoption de cette technologie. C'est plus particulièrement le cas pour l'impression 3D. Le long des chaînes de valeur, l'impression 3D est concentrée essentiellement dans les activités d'amont, telles que le prototypage, le développement de produits et la R&D.³⁷ Dans un scénario où l'impression 3D continue à être utilisée principalement pour les activités d'amont dans les CVM, il est probable que les méthodes de production traditionnelles et l'impression 3D se complèteront plutôt que d'entrer en concurrence (OMC, 2013c).

À plus long terme cependant, l'impression 3D pourrait remplacer dans une certaine mesure les méthodes de fabrication traditionnelles. La possibilité de produire des biens de consommation finals sur le lieu de vente

pourrait réduire la nécessité d'externaliser la production et l'assemblage, réduisant ainsi le nombre d'étapes de production (De Backer et Flaig, 2017 ; Moradlou *et al.*, 2017 ; Strange et Zucchella, 2017). Dans un monde où l'impression 3D serait largement répandue, les chaînes de valeur pourraient reposer en grande partie sur l'échange transfrontières de modèles, de schémas et de logiciels transmis par voie numérique, plutôt que sur l'échange transfrontières de biens matériels (PwC, 2014 ; Komerskollegium, 2016).

Un changement radical dans l'organisation de la production, de la production de masse à la personnalisation de masse, aurait aussi des effets radicaux sur le commerce dans les chaînes de valeur. Les CVM longues et complexes sont apparues parce qu'elles permettaient d'organiser de manière efficiente la production de produits uniformisés, en exploitant les économies d'échelle et les gains liés à la spécialisation. Dans un monde où l'offre passerait de la production de masse à la personnalisation de masse, les chaînes de valeur longues et complexes n'auraient pas la flexibilité nécessaire pour s'adapter à l'évolution des conditions de la demande. Selon certains commentateurs (Standard Chartered, 2016 ; De Backer et Flaig, 2017), les chaînes de valeur pourraient devenir plus courtes en réponse à ces changements, et des centres de production pourraient apparaître à proximité des grandes bases de clients (Baldwin, 2013) ou des centres d'innovation (Spence, 2018).

En conclusion, il est indéniable que les technologies numériques modifieront profondément la nature, la complexité et la longueur des chaînes de valeur, mais la question de savoir si elles auront pour effet net de réduire ou d'augmenter le commerce dans les CVM est posée.

3. Analyse quantitative de l'impact des nouvelles technologies sur le commerce

Dans cette section, l'analyse qualitative effectuée précédemment, qui a permis de déterminer comment les nouvelles technologies et la numérisation pouvaient influencer sur le commerce international, est complétée par des projections quantitatives de l'évolution de la taille et de la structure du commerce international. À cette fin, on utilise le Modèle du commerce mondial (GTM), modèle d'équilibre général calculable (EGC) dynamique récursif, qui prend en compte de multiples secteurs, de multiples facteurs de production, les relations intermédiaires, l'accumulation de capital, un secteur mondial des transports et toute une série de

taxes.³⁸ Ce modèle est basé sur la version modifiée du modèle GTAP (version 7) avec les caractéristiques supplémentaires suivantes. C'est un modèle récursif dynamique, qui tient compte de l'accumulation de capital endogène et de l'offre de facteurs endogènes, qui contient différentes options pour l'allocation de l'épargne globale et qui est flexible dans sa structure du commerce, permettant de basculer entre la concurrence parfaite d'Armington, la concurrence monopolistique d'Ethier-Krugman, et les structures d'hétérogénéité des entreprises de Melitz. On trouvera plus de détails sur ce modèle dans l'Appendice C.3.

L'analyse quantitative a trois objectifs importants. Premièrement, elle discipline les prédictions qualitatives en obligeant les analystes à traduire les scénarios en chocs quantitatifs dans un modèle économique microfondé, basé sur le comportement d'optimisation des agents. Deuxièmement, l'utilisation d'un modèle d'équilibre général cohérent (c'est-à-dire dans une configuration où tous les marchés et leurs interactions sont pris en compte) signifie que les effets indirects des chocs entre les pays et les secteurs sont tous pris en compte. Troisièmement, le fait que le modèle est calculable permet d'aller au-delà des prédictions qualitatives et de fournir des chiffres effectifs sur les effets attendus des nouvelles technologies sur le commerce international. Il faut souligner cependant que certains des changements attendus sont intrinsèquement difficiles à prédire. Les prédictions quantitatives doivent donc être interprétées avec prudence.

La présente analyse examine plus particulièrement l'impact de trois tendances sur la taille et la structure du commerce international. Premièrement, elle étudie l'impact de la numérisation, de la robotisation et de l'intelligence artificielle (IA) sur la répartition des tâches entre le travail et le capital. Ces tendances vont réorienter davantage de tâches économiques de la main-d'œuvre vers le capital (défini de manière large) et augmenter dans le même temps la productivité. L'approche par tâches de Acemoglu et Restrepo (2016), qui est décrite plus en détail ci-après, est utilisée pour modéliser ce phénomène. L'IA peut être une forme d'automatisation qui, au lieu de substituer la puissance des machines au travail manuel, substitue la capacité de calcul des machines à l'intelligence et à l'expertise humaine. La main-d'œuvre est ainsi remplacée par le capital (au sens large), et l'intensité capitaliste de la production augmente.

Dans l'analyse quantitative, les variations de l'intensité capitaliste de la production sont projetées de manière conservatrice, sur la base des tendances

empiriques historiques et de la croissance de la productivité variant par secteur et région, en s'appuyant sur diverses études et indicateurs de l'impact différencié de ces phénomènes sur la productivité.

Deuxièmement, l'analyse examine les changements dans la structure de la production qui conduisent à l'utilisation plus intensive des services liés aux TIC par d'autres secteurs de l'économie, définie comme la servicification. On s'attend à ce que les nouvelles technologies entraînent une utilisation plus intensive des services liés aux TIC dans d'autres secteurs. De manière prudente, l'évolution des services liés aux TIC au cours des 15 prochaines années est projetée sur la base de l'évolution des 15 dernières années, indiquées par les données mondiales d'entrées-sorties de la Base de données mondiale des entrées-sorties (WIOD).

Troisièmement, l'analyse examine l'impact des nouvelles technologies sur les coûts du commerce. On s'attend à ce que les technologies numériques réduisent les coûts du commerce par différents canaux. En particulier, il est tenu compte de l'amélioration des procédures douanières, de l'efficacité croissante de la logistique, de la baisse des coûts de communication associés aux différences linguistiques et de la baisse des coûts d'exécution des contrats due au développement des chaînes de blocs. Les réductions attendues des coûts du commerce sont obtenues par déduction en utilisant des estimations empiriques de l'incidence des canaux mentionnés sur l'importance des coûts du commerce.

Avant d'étudier l'impact des nouvelles technologies et de la numérisation, il est nécessaire d'élaborer un scénario de référence pour l'économie mondiale. Le scénario de référence projette l'évolution de l'économie mondiale jusqu'en 2030 sans changements technologiques résultant de la numérisation, de la robotisation et de l'IA. Ce scénario est construit à partir des données de base de 2011 de la version 9.2 du GTAP, des projections macroéconomiques du FMI et de l'OCDE et des calculs du CEPII et de l'OMC sur les changements structurels. Pour que le modèle et la présentation des résultats restent maniables, les données de base sont regroupées en 14 régions, 16 secteurs et 5 facteurs de production. De plus amples détails sur l'élaboration du scénario de référence sont donnés dans l'Appendice C.3.

(d) Impact des nouvelles technologies sur le commerce

Pour étudier l'impact de la numérisation sur le commerce mondial, on étudie quantitativement les effets des trois tendances suivantes : i) la redistribution

des tâches de production due à la robotisation et à la numérisation ; ii) la servicification du processus de production, avec l'utilisation croissante des services liés aux TIC dans le reste de l'économie ; et iii) la baisse des coûts du commerce découlant des changements technologiques. Ces trois tendances se traduisent par des chocs quantitatifs dans les projections de référence, qui correspondent au scénario du statu quo dans l'économie, sans changements technologiques. Pour chacun des trois chocs, un scénario de base et un scénario de convergence sont élaborés, ce dernier prévoyant une accélération des trois tendances dans les pays en développement.

Comme les évolutions technologiques sont très incertaines, les tendances modélisées sont une indication de la direction que devrait prendre le commerce mondial. L'ampleur des effets des différentes tendances est basée sur des travaux économétriques et la construction de scénarios (pour la baisse des coûts du commerce), sur les prédictions de la littérature (pour la partie productivité de la numérisation et de la robotisation) et sur les tendances passées (pour l'augmentation de la part du revenu du capital et la servicification).³⁹ Cette sous-section traite de la façon dont les chocs sont introduits dans notre modèle. La sous-section suivante compare les résultats de l'application de ces chocs en fonction des variables les plus pertinentes dans les scénarios de référence, de base et de convergence.

(i) Description des trois tendances

Numérisation, robotisation et redistribution des tâches

Les changements technologiques qui devraient découler de la numérisation, de la robotisation et de l'IA sont décrits en détail dans la section B. Les changements technologiques résultant de la robotisation et de l'IA sont modélisés ici suivant l'approche indiquée dans Aghion *et al.* (2017).

Dans cette configuration, une suite de tâches doivent être effectuées pour produire. La robotisation redistribuera les tâches du travail au capital, ce qui aura deux effets : premièrement, elle augmentera la part du revenu du capital et, deuxièmement, elle augmentera la productivité. Le deuxième effet se produit si la répartition initiale des tâches n'est pas optimale, comme le soulignent Acemoglu et Restrepo (2016).⁴⁰ Étant donné que l'ampleur de la redistribution des tâches ne peut pas être observée, le scénario de base sera discipliné par des changements dans deux variables observables, la part du revenu du capital et la croissance de la productivité, qui varient selon les pays

et les secteurs. L'Appendice C.2 explique comment les évolutions moyennes projetées de la part du revenu du capital et de la productivité sont calculées et comment elles varient d'un secteur et d'un pays à un autre. Les variations de l'évolution de la part du revenu du capital et de la croissance de la productivité sont supposées identiques.⁴¹ En ce qui concerne les variations entre pays, deux scénarios sont élaborés pour la croissance de la productivité et l'augmentation de la part du revenu du capital résultant de la robotisation : un scénario de base et un scénario de convergence, dans lequel les pays en développement rattrapent leur retard par rapport à la base.⁴²

Servicification du processus de production

La numérisation affectera la structure sectorielle de la production, générant un processus de servicification. En particulier, l'utilisation des services liés aux technologies de l'information et de la communication par d'autres secteurs de l'économie augmentera. Pour déduire l'ampleur de la servicification, on a calculé la variation de la part des services des TIC dans la base de données mondiale d'entrées-sorties (WIOD) entre 2000 et 2016 (plus précisément la part des secteurs J62 – « Programmation informatique, conseil et activités connexes » – et J63 – « Activités de services d'information »). Les données montrent que la part moyenne des secteurs J62 et J63 dans la demande intermédiaire totale de tous les secteurs a doublé en 15 ans, passant d'environ 2,5% à 5%.

Sur la base de ces changements intervenus au cours des 15 dernières années, 2 scénarios sont élaborés ici, un scénario de base et un scénario de convergence. Dans le scénario de base, la part des services des TIC utilisés par d'autres secteurs croît à un rythme constant pour toutes les régions. Dans le scénario de convergence, leur part augmente plus dans les pays qui ont commencé avec une part plus faible dans la période 2000-2016 que dans la région ayant la part la plus élevée.

Baisse des coûts du commerce

On s'attend à ce que les nouvelles technologies entraînent une réduction des coûts du commerce dans un certain nombre de domaines. Premièrement, la numérisation améliorera le traitement des procédures douanières. Deuxièmement, l'efficacité logistique devrait augmenter. Troisièmement, l'impact négatif des différences linguistiques pourrait avoir moins d'effet avec le développement de nouvelles technologies. Et quatrièmement, l'émergence de la chaîne de blocs et d'autres formes de financement numériques pourrait atténuer les effets d'un mauvais environnement de contrats et de crédit. Une description détaillée de la modélisation de la baisse des coûts du commerce est donnée dans l'Appendice C.3.

(ii) Impact des nouvelles technologies sur le commerce

Cette section décrit l'impact des trois tendances susmentionnées dans les scénarios de base et de convergence sur les résultats suivants : i) croissance annuelle du commerce ; ii) part des pays en développement dans les exportations mondiales ; iii) évolution de la répartition sectorielle et géographique de la production ; iv) évolution de la chaîne de valeur mondiale mesurée par la part des biens intermédiaires importées dans la production brute et la valeur ajoutée étrangère ; et v) part des services importés dans la production manufacturière. Les valeurs du scénario de référence sont également présentées à des fins de comparaison. Le tableau C.3 donne un aperçu des trois tendances modélisées dans les différents scénarios.

On obtient quatre résultats principaux. Premièrement, les changements technologiques devraient accélérer

Tableau C.3 : Aperçu des tendances modélisées dans les deux scénarios

Scénarios		
Tendances	Scénario de base	Scénario de convergence
Numérisation et robotisation	Croissance différenciée de la productivité par secteur et par région en fonction, respectivement, de la possibilité d'évolution technologique et de l'état de préparation au numérique.	Croissance différenciée de la productivité dans les secteurs comme dans le scénario de base, les régions en retard rattrapant les 25% des régions les plus performantes en termes de croissance de la productivité.
Servicification	Doublement de la part des services des TIC et des services de conseil utilisés par tous les autres secteurs. Croissance constante de cette part entre les régions.	Doublement de la part des services des TIC et des services de conseil utilisés par d'autres secteurs. Croissance plus forte de cette part dans les régions en retard.
Baisse des coûts du commerce	Réduction des coûts du commerce de type iceberg* grâce aux nouvelles technologies par 4 canaux. Réductions identiques dans les régions.	Réduction des coûts du commerce de type iceberg grâce aux nouvelles technologies par 4 canaux. Les coûts du commerce dans les paires où ces coûts sont élevés convergent vers les 25% de paires où ces coûts sont les plus bas.

* Les coûts du commerce de type iceberg (modélisés pour la première fois par Samuelson en 1954) sont les coûts du transport d'un bien quand ce transport utilise une fraction du bien lui-même, plutôt que d'autres ressources. Ils sont appelés « iceberg » par analogie avec les icebergs flottants, dont une partie fond en flottant.

la croissance du commerce, à la fois du fait de la baisse des coûts du commerce et de l'utilisation plus intensive des services des TIC. Deuxièmement, la tendance à l'augmentation de la part des pays en développement dans le commerce mondial peut être affaiblie si les pays en développement ne parviennent pas à rattraper leur retard pour les trois phénomènes modélisés : la croissance technologique associée aux nouvelles technologies, la réduction des coûts du commerce et l'augmentation des services des TIC dans le processus de production. Troisièmement, la tendance à l'augmentation de la part des exportations de services dans les exportations totales est renforcée pour la plupart des pays par les évolutions technologiques modélisées. Quatrièmement, l'impact de ces évolutions sur l'organisation des chaînes de valeur mesuré par la part de valeur ajoutée étrangère dans les exportations ou la part des biens intermédiaires importés dans les exportations brutes est limitée. On constate cependant que l'augmentation de la part des importations de services dans la production manufacturière brute se renforce considérablement avec les changements technologiques, par suite de la servicification et de la baisse des coûts du commerce pour les services.

Le tableau C.4 contient le premier grand résultat de l'analyse : les changements technologiques devraient stimuler la croissance du commerce. Cela résulte à la fois de la baisse des coûts du commerce et de l'utilisation plus intensive des services des TIC. Le tableau compare la croissance annuelle du commerce dans le scénario de référence, le scénario de base et le scénario de convergence. Il ressort clairement de ce tableau que les nouvelles tendances renforcent considérablement la croissance du commerce dans les différentes régions. L'impact est plus important dans les régions affichant une croissance du commerce plus faible dans le scénario de référence. Comme attendu, les régions à faible revenu affichent une croissance du commerce plus forte dans le scénario de convergence. Globalement, le commerce mondial augmente de 1,8 à 2 points de pourcentage de plus dans les différentes régions dans les scénarios de base et de convergence par rapport au scénario de référence. Cela correspond à une croissance du commerce supérieure de 31 à 34 points de pourcentage dans les scénarios de base et de convergence sur 15 ans.

La figure C.25 présente le deuxième grand résultat de l'analyse : la tendance à l'augmentation de la part des pays en développement dans le commerce mondial peut être affaiblie si ces pays ne parviennent pas à rattraper leur retard pour les trois phénomènes modélisés, à savoir la croissance technologique associée aux nouvelles technologies, la réduction des

coûts du commerce et l'augmentation de la part des services des TIC dans le processus de production. La figure montre que la part des exportations des pays en développement (panneau du haut) augmente avec le temps, mais beaucoup moins dans le scénario de base. La part des pays en développement dans les exportations mondiales passe de 46% en 2015 à 57% dans le scénario de convergence, alors qu'elle n'atteint que 51% dans le scénario de base sans rattrapage. Une tendance positive analogue est observée pour la part des PMA (panneau du bas).

Le troisième grand résultat de l'analyse est que la tendance à l'augmentation de la part des exportations de services dans les exportations totales est renforcée, pour la plupart des pays, par les évolutions technologiques modélisées, comme le montre le tableau C.5. Cela tient au fait que les coûts du commerce diminuent plus pour les secteurs de services et que la tendance à la servicification

Tableau C.4 : Croissance annuelle réelle moyenne du commerce entre 2016 et 2030 (%)

Région	Scénario de référence	Scénario de base	Scénario de convergence
Afrique subsaharienne	5,27	7,05	8,25
Amérique latine et Caraïbes	3,37	5,44	5,68
ASEAN	5,47	7,60	7,99
Autres pays d'Asie	3,96	6,12	6,51
Autres pays développés	2,46	4,35	4,27
Bésil	1,69	4,86	4,66
Chine	6,62	8,72	8,66
États-Unis	2,40	3,85	3,47
Inde	7,46	9,33	9,61
Japon	1,54	2,96	2,98
Moyen-Orient et Afrique du Nord	3,66	5,76	6,22
Nigéria	5,72	7,13	7,93
Reste du monde	2,61	4,65	5,25
Union européenne (28)	1,51	3,20	3,27
Monde	3,29	5,17	5,32

Source : Calculs des auteurs à l'aide du Modèle de commerce mondial de l'OMC.

Notes : Le tableau indique la croissance annuelle réelle du commerce dans les différentes régions et au niveau mondial (moyenne pondérée en fonction des échanges). Des détails sur l'agrégation figurent dans le tableau C.3 de l'appendice. L'ASEAN est l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est.

Figure C.25 : Part des pays en développement (premier graphique) et des pays les moins avancés (deuxième graphique) dans les exportations mondiales (%)

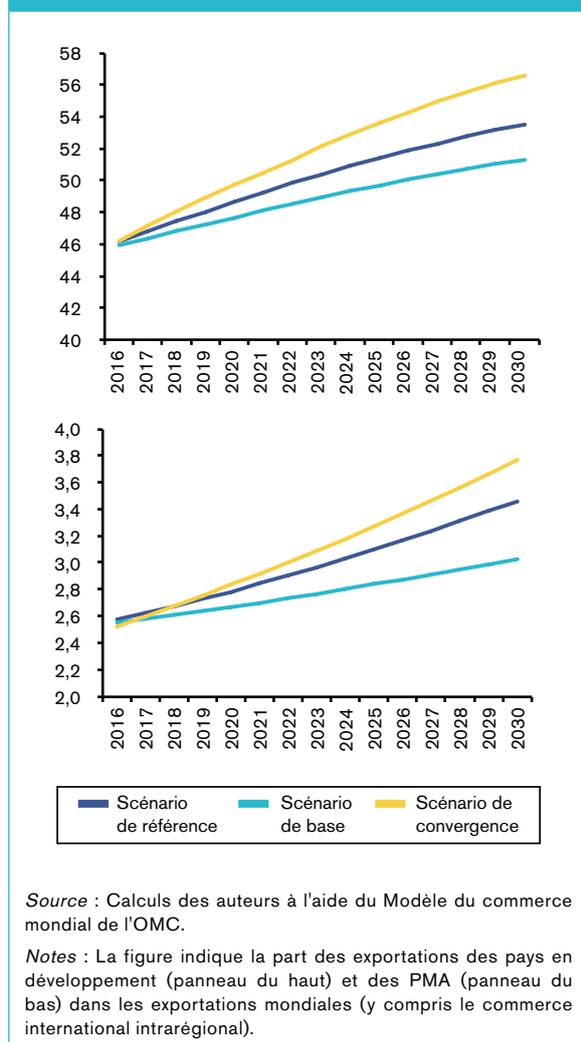


Tableau C.5 : Part des exportations de services dans les exportations totales par région en 2016 et dans les scénarios de référence, de base et de convergence combinés en 2030 (%)

Région	2016	Scénario de référence 2030	Scénario de base 2030	Scénario de convergence 2030
Afrique subsaharienne	12,44	11,91	14,83	13,02
Amérique latine et Caraïbes	12,49	13,06	14,65	16,23
ASEAN	20,14	21,03	22,33	21,99
Autres pays d'Asie	26,36	28,54	29,35	26,80
Autres pays développés	19,63	21,09	23,95	26,14
Brésil	15,04	15,65	17,57	18,58
Chine	8,37	9,12	10,21	10,56
États-Unis	24,76	27,68	31,62	33,26
Inde	30,73	33,45	39,35	39,60
Japon	15,04	20,16	22,75	23,67
Moyen-Orient et Afrique du Nord	13,66	13,48	16,59	17,15
Nigéria	3,37	3,04	4,17	4,39
Reste du monde	14,49	15,53	18,44	20,71
Union européenne (28)	28,30	33,20	35,71	36,17
Monde	20,95	21,08	24,70	25,03

Source : Calculs des auteurs à l'aide du Modèle du commerce mondial de l'OMC.

Notes : Le tableau présente la part des exportations de services dans les exportations totales en 2016 et en 2030 dans les scénarios de référence, de base et de convergence (y compris le commerce international intrarégional).

entraîne une augmentation de l'importance des services dans l'économie et donc aussi de celle du commerce. Au niveau mondial, la part du commerce des services dans le commerce total passe de 21% en 2016 à 25% dans les deux scénarios, alors qu'elle se maintient à 22% dans le scénario de référence (voir la dernière ligne du tableau C.5).

L'examen des résultats du choc de servicification distinct indique que la part des exportateurs traditionnels des services des TIC concernés dans les exportations mondiales diminue.⁴³ Cela s'explique par le fait que les plus grands producteurs de services des TIC exigeront la plus forte augmentation de la demande de ces services en termes de valeur. Par conséquent, ils produiront davantage pour le marché intérieur et attireront plus d'importations d'autres

pays. Ainsi, l'avantage comparatif des exportations de services des TIC sera moins prononcé en raison du choc dû à la demande.⁴⁴

Quatrièmement, l'impact des trois tendances sur l'organisation des chaînes de valeur est limité. Le tableau C.6, qui indique la part des biens intermédiaires importés dans la production brute, montre que pour la plupart des régions, à l'exception de l'Union européenne, la part des biens intermédiaires importés dans la production brute augmente dans les scénarios de base et de convergence combinés. Cela s'explique une fois encore par le fait que les coûts du commerce diminuent, ce qui rend plus attractif l'emploi de biens intermédiaires importés dans la production.

Tableau C.6 : Part des biens intermédiaires importés dans la production brute en 2016 et dans les scénarios de référence, de base et de convergence combinés en 2030 (%)

Region	2016	Scénario de référence 2030	Scénario de base 2030	Scénario de convergence 2030
Afrique subsaharienne	11,83	11,52	11,78	12,27
Amérique latine et Caraïbes	9,62	9,12	9,58	9,45
ASEAN	18,03	18,10	18,64	18,67
Autres pays d'Asie	17,25	17,52	17,82	18,21
Autres pays développés	9,55	9,09	9,19	9,09
Brésil	5,38	5,53	5,68	5,68
Chine	8,00	7,54	8,20	7,90
États-Unis	6,04	6,09	6,34	5,98
Inde	11,49	12,09	11,87	11,83
Japon	6,60	6,98	6,83	6,80
Moyen-Orient et Afrique du Nord	11,65	10,96	11,46	11,65
Nigéria	5,16	5,53	5,52	5,57
Reste du monde	7,94	7,80	8,35	8,82
Union européenne (28)	15,25	14,80	14,42	14,48
Monde	10,33	10,07	10,32	10,29

Source : Calculs des auteurs à l'aide du Modèle du commerce mondial de l'OMC.

Notes : Le tableau montre la part des biens intermédiaires importés dans la production brute en 2016 et en 2030 dans les scénarios de référence, de base et de convergence (y compris le commerce international intrarégional).

Néanmoins, l'augmentation de la part des importations de services dans la production manufacturière brute devient beaucoup plus importante avec les changements technologiques, comme le montre clairement le tableau C.7. Cela tient au fait que la baisse des coûts du commerce, en particulier pour les services, conjuguée à la servicification entraîne une augmentation des importations de services des TIC.

Enfin, on constate que la redistribution des tâches conduisant à une augmentation de la part du revenu du capital n'entraînera pas une diminution de la valeur ajoutée étrangère ou des biens intermédiaires importés dans la production brute. Par conséquent, rien ne semble corroborer l'idée que l'augmentation de la part du capital dans les économies développées entraînerait

Tableau C.7 : Part des services importés dans la production manufacturière (brute) en 2016 et dans les scénarios de référence, de base et de convergence combinés en 2030 (%)

Région	2016	Scénario de référence 2030	Scénario de base 2030	Scénario de convergence 2030
Afrique subsaharienne	1,39	1,46	1,71	1,86
Amérique latine et Caraïbes	0,70	0,78	0,91	0,94
ASEAN	0,99	1,08	1,32	1,39
Autres pays d'Asie	0,94	1,03	1,30	1,40
Autres pays développés	1,34	1,55	1,90	1,85
Brésil	0,58	0,74	0,83	0,86
Chine	0,49	0,43	0,52	0,49
États-Unis	0,39	0,45	0,58	0,53
Inde	1,21	1,17	1,47	1,60
Japon	0,37	0,41	0,51	0,50
Moyen-Orient et Afrique du Nord	1,31	1,47	1,71	1,83
Nigéria	0,49	0,65	0,68	0,74
Reste du monde	0,72	0,79	0,94	1,05
Union européenne (28)	2,76	3,22	4,00	4,00

Source : Calculs des auteurs à l'aide du Modèle du commerce mondial de l'OMC.

Notes : Le tableau indique la part des services intermédiaires importés dans la production manufacturière brute en 2016 et en 2030 dans les scénarios de référence, de base et de convergence (y compris le commerce international intrarégional).

une relocalisation de l'activité manufacturière et, partant, une diminution des importations de biens intermédiaires étrangers. Ce résultat est conforme aux autres observations faites dans la littérature, comme on l'a vu dans la section C.2 c).⁴⁵

Le tableau C.8 indique la part de la valeur ajoutée étrangère dans la production pour illustrer ce point. Le choc distinct de redistribution des tâches produit aussi des résultats intéressants. En particulier, il devrait réduire la part des exportations des États-Unis dans les exportations mondiales. Les États-Unis devraient enregistrer les changements technologiques les plus importants, ce qui les amènera alors à se concentrer davantage sur l'économie nationale.

Tableau C.8 : Part de la valeur ajoutée étrangère dans les exportations en 2030 du fait de la numérisation et de la robotisation (%)

Région	Scénario de référence 2030	Scénario de base 2030	Scénario de convergence 2030
Afrique subsaharienne	11,95	12,09	11,97
Amérique latine et Caraïbes	12,63	13,21	13,24
ASEAN	23,75	23,75	23,73
Autres pays d'Asie	28,71	28,48	28,57
Autres pays développés	15,55	15,66	15,75
Bésil	9,97	9,68	9,81
Chine	18,75	18,51	18,50
États-Unis	14,58	14,65	14,70
Inde	23,68	23,22	23,23
Japon	16,05	15,95	15,95
Moyen-Orient et Afrique du Nord	6,98	7,00	6,98
Nigéria	2,24	2,33	2,30
Reste du monde	6,98	6,95	6,93
Union européenne (28)	17,68	17,44	17,45

Source : Calculs des auteurs à l'aide du Modèle du commerce mondial de l'OMC.

Notes : Le tableau indique la part de la valeur ajoutée étrangère dans les exportations (telle que définie dans Koopman *et al.*, 2014) en 2030 dans les scénarios de référence, de base et de convergence (à l'exclusion du commerce international intrarégional).

(iii) Comparaison avec d'autres études

Les projections quantitatives présentées dans cette section concernant l'impact des nouvelles technologies sur le commerce sont comparables aux résultats de plusieurs autres études publiées. Premièrement, De Backer et Flaig (2017) réalisent des simulations quantitatives sur l'avenir des chaînes de valeur mondiales en modélisant diverses tendances, dont une est la numérisation. Ils prédisent que cette tendance conduira à une certaine relocalisation de l'activité économique, mesurée par la réduction de la part des biens intermédiaires importés dans la production. La présente étude prédit au contraire une légère augmentation de la part des biens intermédiaires importés dans la production, en particulier de la part des services intermédiaires importés. La différence entre les résultats peut s'expliquer par les chocs

modélisés. Alors que De Backer et Flaig (2017) modélisent une augmentation type de la productivité totale des facteurs variant selon les secteurs, la présente étude modélise une augmentation de la productivité dans le cadre d'une redistribution des tâches entre le travail et le capital pour tenir compte à la fois de la numérisation et de la robotisation. En outre, la présente étude inclut aussi la baisse des coûts du commerce et la servicification pour appréhender les effets des nouvelles technologies. Ces tendances entraînent une augmentation du commerce et une augmentation des biens intermédiaires importés dans la production brute.⁴⁶

De Backer et Flaig (2017) construisent aussi un scénario combiné incluant différents chocs, qui donne également une baisse de la part des intrants intermédiaires dans la production brute. Ce résultat contraste donc avec les conclusions du présent rapport, qui suggèrent une augmentation de la part des intrants intermédiaires dans la production brute. Cette différence s'explique par trois facteurs. Premièrement, comme on l'a vu plus haut, le choc de la numérisation est appliqué plus largement dans ce rapport en tant que redistribution des tâches. Deuxièmement, le présent rapport modélise une baisse des coûts du commerce résultant des nouvelles technologies, alors que De Backer et Flaig (2017) intègrent une hausse des coûts du commerce (reflétant une hausse des prix de l'énergie) dans leur scénario combiné. Troisièmement, les autres chocs sont différents. Le présent rapport intègre une servicification croissante, conduisant à une augmentation de la part des biens (services) intermédiaires importés dans la production brute, tandis que De Backer et Flaig (2017) intègrent une augmentation de la main-d'œuvre, des salaires et de la consommation dans les pays émergents. Ces trois dernières tendances font déjà partie du scénario de référence dans le présent rapport.

Deuxièmement, plusieurs études ont présenté des simulations projetant l'avenir de l'économie mondiale et du commerce mondial, par exemple le Rapport sur le commerce mondial 2013 (OMC, 2013c). Par rapport à la présente étude, le Rapport sur le commerce mondial 2013 tentait de faire des projections générales sur l'avenir du commerce mondial, alors que le rapport de cette année analyse l'impact des nouvelles technologies numériques sur l'avenir du commerce mondial. Pour montrer en quoi les projections actuelles sur l'avenir du commerce mondial diffèrent des études antérieures du Secrétariat de l'OMC, l'Appendice C.3, qui décrit les projections de référence, examine plus en détail les différences et les similitudes entre les simulations du Rapport sur le commerce mondial 2013 et celles du présent rapport.

4. Conclusions

Il est essentiel de comprendre les facteurs qui influenceront sur le commerce avec l'évolution du commerce numérique, pour maximiser les gains tirés du commerce et relever les défis. Cette section a pour but d'identifier les mécanismes par lesquels les technologies numériques affecteront le commerce ainsi que les opportunités et les défis qui en découlent. Elle aboutit à cinq grandes conclusions.

Premièrement, les technologies numériques ont réduit et continueront à réduire les coûts du commerce traditionnels. Comme on l'a vu dans la section C.1, plusieurs avancées technologiques récentes ont eu un impact important sur les coûts de transport et de logistique. L'utilisation du GPS pour la navigation et la conduite autonome ou la cartographie d'itinéraires en temps réel réduisent les coûts, permettent des ajustements en temps réel et rendent la livraison plus sûre. Les plates-formes en ligne aident à réduire les coûts liés à l'appariement des acheteurs et des vendeurs, à l'obtention de renseignements sur le marché et à la fourniture d'informations aux consommateurs potentiels. De telles plates-formes peuvent stimuler la participation au commerce international plus encore qu'au commerce intérieur et elles fournissent des mécanismes, tels que le retour d'information et les garanties, qui améliorent la confiance des consommateurs dans les vendeurs en ligne.

Deuxièmement, les technologies numériques offrent aux MPME et aux pays en développement de nouvelles possibilités de tirer parti du commerce, mais elles créent aussi de nouveaux défis. D'une part, de nombreuses petites entreprises innovantes et productives ont maintenant le potentiel de se lancer avec succès dans le commerce international. De plus, comme la distance importe moins dans le commerce en ligne, celui-ci offre des possibilités aux pays et régions reculés.

D'autre part, ces innovations peuvent se heurter à des obstacles comme le manque de connectivité numérique dans certaines parties du monde. Les progrès en matière de téléphonie mobile/cellulaire, de large bande fixe et de pénétration d'Internet sont encore inégaux, ce qui crée des difficultés pour certaines petites entreprises. Mais il y a aussi d'autres défis comme l'inadéquation des cadres réglementaires, les faiblesses institutionnelles, l'insuffisance des investissements privés et des infrastructures sous-développées (y compris l'infrastructure des TIC, mais aussi les mécanismes de paiement, par exemple). La dynamique du « gagnant rafle tout » et les nouvelles formes d'obstacles (notamment aux flux de données) détermineront aussi la répartition des gains de cette nouvelle révolution technologique.

Troisièmement, les nouvelles technologies influenceront sur la composition du commerce, en augmentant sa composante services et en favorisant le commerce de certains types de biens. L'évolution technologique des services d'infrastructure numérique a amélioré les possibilités d'échange de services transfrontières, ce qui augmente les possibilités d'exportation et modifie la structure du commerce international des services (augmentant l'importance du mode 1 – commerce transfrontières – et de secteurs autres que les voyages et les transports). Les secteurs des services qui peuvent être fournis plus facilement par voie électronique ont connu une forte croissance. La participation des pays en développement au commerce est forte dans des secteurs tels que les services informatiques et les services de soutien administratif.

La composante services du commerce a augmenté non seulement parce qu'il est plus facile de fournir des services sous forme numérique, mais aussi parce que de nouveaux modes de fourniture des services apparaissent, remplaçant le commerce des biens (comme dans le cas de la diffusion de musique en continu par opposition au commerce des CD), et parce que les réseaux internationaux de production augmentent la teneur en services des produits manufacturés. On peut s'attendre à ce que ces phénomènes se poursuivent, et à ce que les services continuent à occuper une place importante dans le commerce, ce qui augmentera l'importance relative des obstacles au commerce des services.

En ce qui concerne la composition du commerce des biens, il faut s'attendre à une diminution des coûts du commerce induite par les technologies numériques qui facilitent le commerce des produits sensibles au facteur temps et des produits à forte intensité de certification et de contrat. De même, il faut s'attendre à une augmentation du commerce des biens personnalisables. La tendance à la diminution du commerce de certains biens numérisables – comme les CD, les livres et les journaux – devrait se poursuivre avec l'avènement de l'impression 3D. Enfin, le modèle d'« économie du partage » pourrait affecter le commerce des biens de consommation durables.

Quatrièmement, les technologies numériques auront une profonde influence sur la nature, la complexité et la longueur des chaînes de valeur dans l'avenir. Mais il est difficile de prédire si elles réduiront ou augmenteront le commerce au sein des CVM. Combinée aux innovations dans le domaine de la logistique, la réduction des coûts de transaction via Internet a entraîné l'expansion considérable des CVM. Mais les nouvelles technologies peuvent aussi inverser ce processus en encourageant la relocalisation.

Cinquièmement, les nouvelles technologies modifieront le rôle du capital, du travail et des institutions dans la détermination de la structure des échanges. Il s'agit de l'impact de l'IA sur le capital et de l'impression 3D sur le rôle des infrastructures portuaires, et de l'influence que la technologie de la chaîne de bloc peut avoir sur le rôle des institutions. Mais d'autres facteurs influenceront aussi la structure des échanges dans l'avenir, notamment la réglementation et la dotation en infrastructure numérique. Ces facteurs détermineront dans quelle mesure les pays en développement pourront participer aux nouveaux marchés électroniques mondiaux.

Pour donner une idée des effets quantitatifs potentiels de ces changements, nous avons aussi simulé dans cette section les effets de certains des changements que les nouvelles technologies pourraient apporter dans le commerce international d'ici à 2030. À l'aide d'un modèle d'équilibre général calculable, nous avons examiné l'incidence de trois tendances : la redistribution des tâches entre le travail et le capital liée à la robotisation et

à la numérisation, la servicification du processus de production et la baisse des coûts du commerce. Nos simulations montrent que les changements technologiques futurs devraient entraîner une croissance plus forte du commerce, en particulier du commerce des services, par rapport aux projections de référence de l'économie mondiale jusqu'en 2030. Sous l'effet de ces tendances, le commerce mondial devrait croître d'environ deux points de pourcentage de plus que dans le scénario de référence, et la part du commerce des services devrait passer de 21% à 25%. Les pays en développement augmenteront probablement leur part du commerce mondial, mais les effets quantitatifs dépendront de leur capacité de rattraper leur retard dans l'adoption des technologies numériques. Avec ce rattrapage, la part des pays en développement et des pays les moins avancés dans le commerce mondial devrait passer de 46% en 2015 à 57% en 2030. On prévoit que l'organisation de la production mondiale changera du fait de l'augmentation de la part des services intermédiaires importés dans le secteur manufacturier.

Appendice C.1 : Décomposition des coûts du commerce

Comme le proposent Head et Ries (2001), les coûts « iceberg » du commerce bilatéral peuvent être exprimés en tant que ratio des flux commerciaux intranationaux aux flux commerciaux intérieurs. Mathématiquement, cela se traduit de la manière suivante :

$$t_{ij}^k \cdot t_{ji}^k = \left(\frac{x_{ii}^k \cdot x_{jj}^k}{x_{ij}^k \cdot x_{ji}^k} \right)^{\frac{1}{\sigma_k - 1}},$$

où t_{ij}^k sont les coûts du commerce pour les importations en provenance du secteur k du pays i dans le pays j , x_{ii}^k est le commerce intérieur du pays i , x_{ij}^k sont les importations bilatérales en provenance du secteur k du pays i dans le pays j , et σ_k est l'élasticité de substitution spécifique du secteur. Cette structure permet de calculer les coûts du commerce bilatéral à partir des flux commerciaux bilatéraux et intérieurs observés.

Comme les coûts du commerce définis ci-dessus sont non directionnels au niveau bilatéral (voir Chen et Novy, 2011, pour de plus amples détails), on utilise une moyenne géométrique en prenant la racine carrée de l'expression ci-dessus. La moyenne des coûts du commerce bilatéral (θ_{ij}^k) peut alors être exprimée comme suit :

$$\theta_{ij}^k = \left(\frac{x_{ii}^k \cdot x_{jj}^k}{x_{ij}^k \cdot x_{ji}^k} \right)^{\frac{1}{2(\sigma_k - 1)}}.$$

Plus deux pays commercent ensemble (c'est-à-dire plus $x_{ij}^k \cdot x_{ji}^k$ est élevé), plus la mesure des frictions commerciales relatives est faible, toutes choses égales par ailleurs. Inversement, plus le commerce intérieur augmente dans l'un ou l'autre des deux pays (c'est-à-dire plus $x_{ii}^k \cdot x_{jj}^k$ est élevé), plus la mesure des frictions commerciales relatives est élevée, toutes choses égales par ailleurs. Dans l'analyse qui suit, nous identifions les facteurs qui expliquent θ_{ij}^k , nous procédons à une analyse de régression et nous utilisons les résultats pour décomposer la variation de θ_{ij}^k en différents types de coûts du commerce.

Pour construire la variable dépendante θ_{ij}^k ,⁴⁷ nous utilisons les données du commerce international et du commerce intérieur provenant de la Base de données mondiale entrées-sorties (WIOD) et, suivant Chen

et Novy (2011), nous supposons que σ est identique pour tous les secteurs et prend la valeur de 8.

L'équation estimée est la suivante :

$$\ln(\theta_{ij}) = \alpha + \beta \cdot \text{Transport}_{ij} + \gamma \cdot \text{Logistics}_{ij} + \delta \cdot \text{Border costs}_{ij} + \varphi \cdot \text{Information and transaction costs}_{ij} + \rho \cdot \text{Trade policy}_{ij} + \epsilon_{ij}.^{48}$$

▪ Pour tenir compte de l'impact des coûts de transport sur les frictions commerciales totales, l'ensemble de variables dans Transport_{ij} inclut la moyenne géométrique de la distance de transport effective, comme dans Egger *et al.* (2018), l'absence de littoral et l'existence d'une frontière commune (Mayer et Zignago, 2011).

▪ Pour tenir compte de l'impact des coûts logistiques, Logistics_{ij} inclut le logarithme de la moyenne géométrique de l'indice de connectivité des transports maritimes réguliers⁴⁹ et le logarithme de la moyenne géométrique de cinq des six éléments de l'indice de performance logistique (IPL) : qualité des infrastructures commerciales et des infrastructures de transports connexes ; facilité de l'organisation des expéditions à des prix concurrentiels ; compétence et qualité des services logistiques tels que le transport routier, le transit et le courtage en douane ; suivi et traçabilité des expéditions ; et fréquence des expéditions arrivant à destination dans les délais prévus.⁵⁰

▪ Pour tenir compte de l'impact des retards liés aux procédures douanières, Border costs_{ij} est la moyenne géométrique du délai avant l'exportation.⁵¹

▪ Pour tenir compte de l'impact des coûts d'information et de transaction, l'ensemble de variables dans $\text{Information and transaction costs}_{ij}$ inclut la langue ethnique commune, le colonisateur commun et le fait d'être une ancienne colonie et d'avoir fait partie du même pays (Mayer et Zignago, 2011), le logarithme de la moyenne géométrique du stock bilatéral de migrants,⁵² le logarithme de la moyenne géométrique de l'indice sur la profondeur de l'information relative au crédit et le logarithme de la moyenne géométrique de l'indicateur de l'exécution des contrats.⁵³

▪ Les obstacles liés à la politique commerciale (Trade policy_{ij}) sont pris en compte par des variables muettes concernant l'existence d'un accord de libre-échange

et la participation à l'Union européenne (Egger et Larch, 2008). Ils incluent aussi le logarithme de la moyenne géométrique des taux de change des deux pays.⁵⁴

La régression est effectuée sur des données de 2014 et elle englobe 36 pays, ce qui est l'échantillon le plus large pour lequel toutes les variables sont disponibles. Chypre, le Luxembourg et Malte sont exclus en raison de leur petite taille.

On utilise ensuite les coefficients de régression pour identifier la contribution des différentes catégories de coûts du commerce à la variance des coûts du commerce entre les pays. Par exemple, la contribution des coûts à la frontière à la variance des coûts du commerce est calculée comme suit :

$$\hat{\delta}^* = \frac{\text{Covariance}(\ln(\theta_{ij}), \text{Border costs}_{ij})}{\text{Variance}(\ln(\theta_{ij}))}$$

où $\hat{\delta}$ est le coefficient estimé associé à la variable *Border costs*. Le coefficient est multiplié par la covariance entre la variable dépendante et la variable *Border costs* et divisé par la variance de la variable dépendante. Les contributions des catégories de coûts du commerce qui se composent de plusieurs variables sont calculées comme la somme des contributions individuelles. La somme des contributions de toutes les variables explicatives est égale au R carré de la régression. La composante inexpliquée représente alors les frictions qui ne sont pas prises en compte par les variables incluses dans la régression.

Appendice C.2 : Protection de la propriété intellectuelle (PI) et avantage comparatif dans les secteurs à forte intensité de PI

Les ressources et les technologies numériques jouent un rôle de plus en plus important dans le processus de production. Comme les produits numériques sont sensibles à la protection de la PI, une forte protection de la PI peut avoir pour effet d'accroître la productivité dans les secteurs qui utilisent un processus de production numérisé.

De ce fait, une forte protection de la PI peut être une source d'avantage comparatif, car elle accroît la productivité relative des secteurs à forte intensité de PI dans les pays où cette protection est plus forte.

Toutefois, une protection très forte de la PI peut aussi entraver la croissance de la productivité, car elle réduit la disponibilité de technologies de production plus efficaces et elle peut freiner l'innovation. Par conséquent, l'effet d'une forte protection de la PI est en principe ambigu.

Cet appendice présente une évaluation empirique de la relation entre le niveau de protection de la PI dans un pays et les exportations des secteurs qui ont besoin d'une protection relativement forte de la PI.

Pour examiner si les pays ayant une forte protection de la PI ont un avantage comparatif dans les secteurs à forte intensité de PI, la spécification économétrique suivante a été estimée selon la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) :

$$\ln(\text{Trade}_{gij}) = \alpha_i + \alpha_{gj} + \beta(ipi_g * IPP_i) + \theta(ipi_g * GDPpc_i) + \sum_a \delta^a (z_g^a * Q_i^a) + X_{ij} \gamma + \varepsilon_{gij}$$

Chor (2010) établit cette spécification à partir d'un modèle sectoriel d'Eaton et Kortum (2002). La variable dépendante est le logarithme naturel des exportations du pays i vers le pays j , produites par le secteur g et libellées en dollars EU. La principale variable explicative d'intérêt est le terme d'interaction entre l'utilisation de la protection de la PI dans le secteur g (ip_i) et la force de la protection de la PI dans le pays exportateur i (IPP_i). Tous les autres termes de la spécification neutralisent les facteurs de confusion.⁵⁵

L'utilisation de la protection de la PI par le secteur est mesurée par le nombre de brevets déposés, divisé par le nombre de salariés dans ce secteur. Ce renseignement est disponible pour 82 industries manufacturières dans un rapport de l'Office européen des brevets et de l'Office de l'Union européenne pour

la propriété intellectuelle (OEB et EUIPO, 2016). Le niveau de protection de la PI est basé sur une mesure de la protection basée sur une enquête, indiquée par l'indice de compétitivité mondiale du FEM (Schwab et Sala-i-Martin, 2014).⁵⁶ Les résultats sont donnés dans le tableau C.1 de l'appendice.

La colonne 1 du tableau C.1 de l'appendice montre que le coefficient du terme d'interaction de la PI est statistiquement significatif et positif. Ce résultat tend à montrer que les secteurs à forte intensité de PI exportent beaucoup plus à partir des pays qui ont des mécanismes forts de protection de la PI. Cet effet persiste même quand on tient compte de l'interaction de l'intensité de PI du secteur et du PIB par habitant ($ip_i * GDPpc_i$), qui prend en compte le niveau de développement économique (colonne 2) et les sources traditionnelles d'avantage comparatif : capital humain ($z_g^{HC} * Q_i^{HC}$) et capital physique ($z_g^{PC} * Q_i^{PC}$) (colonne 3).⁵⁷

On examine ensuite les effets hétérogènes dans des pays ayant différents niveaux de protection de la PI. Pour cela, l'interaction de l'intensité de PI du secteur et du PIB par habitant ($ip_i * GDPpc_i$) est mise elle-même en interaction avec un indicateur variable D_i , qui est de 1 si l'indice de protection de la PI dans le pays exportateur i est supérieur à la médiane mondiale de l'indice. Cette spécification permet de séparer l'effet d'avantage comparatif pour les pays ayant une forte protection de la PI et pour les pays ayant une protection plus faible. Les résultats sont donnés dans le tableau C.2 de l'appendice. Comme précédemment, le coefficient d'interaction de la PI est positif et statistiquement significatif. Toutefois, le triple terme d'interaction est significatif et négatif. Les deux effets ont la même taille absolue. Ce résultat indique que l'effet positif de la protection de la PI sur les exportations à forte intensité de PI se maintient tant que la force de protection de la PI d'un pays est inférieure au niveau médian de protection. Une fois qu'un pays se situe dans la moitié supérieure de l'indice de protection de la PI, une protection plus forte de la PI est sans effet sur les exportations des secteurs à forte intensité de PI.

Pour résumer, on constate qu'en moyenne, une forte protection de la PI est une source d'avantage comparatif dans les secteurs à forte intensité de PI. En outre, une fois que la force de protection de la PI d'un pays dépasse un certain seuil, l'accroissement de cette protection n'augmente pas l'avantage comparatif dans les secteurs à forte intensité de PI.

Tableau C.1 de l'appendice : La protection de la propriété intellectuelle comme avantage comparatif

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Variable dépendante	$\ln(\text{Trade}_{gij})$	$\ln(\text{Trade}_{gij})$	$\ln(\text{Trade}_{gij})$	Trade_{gij}	Trade_{gij}	Trade_{gij}
$ipi_g * IPP_i$	0.0211*** (0.000599)	0.00524*** (0.00103)	0.00477*** (0.00101)	0.0281*** (0.00299)	0.00514 (0.00356)	0.00820* (0.00384)
$ipi_g * GDPpc_i$		0.0105*** (0.00544)	0.0078*** (0.00053)		0.0142*** (0.00162)	0.0155*** (0.00150)
$z_g^{HC} * Q_i^{HC}$			2.614*** (0.0774)			-1.444*** (0.336)
$z_g^{PC} * Q_i^{PC}$			-0.0794*** (0.00978)			0.0037*** (0.00038)
Observations	366429	365241	364697	861186	852825	836103
R carré ajusté	0.588	0.588	0.591			
Pays exportateurs	103	102	100	100	100	100
Pays importateurs	103	103	103	103	103	103
Nombre de secteurs	82	82	82	82	82	82
Volume du commerce (milliards de \$EU)	10197.6	10196.1	10195.9	10195.9	10195.9	10195.9

Source : Estimations du Secrétariat de l'OMC.

Notes : Le tableau indique les coefficients (et les erreurs type regroupées par paire de pays entre parenthèses) provenant des estimations MCO (colonnes 1 à 3) et pseudo-maximum de vraisemblance de Poisson (PPML) (colonnes 4 à 6) qui régressent Trade_{gij} (ou son logarithme) sur le terme d'interaction $ipi_g * IPP_i$ et les autres covariables. Les données commerciales proviennent de la base de données sur le commerce international BACI du CEPII (Gaulier et Zignago, 2010) ; ipi_g est le nombre de brevets déposés divisé par le nombre de salariés dans le secteur g selon la CITI ; IPP est l'indice de compétitivité mondiale du FEM pour le pays i (Schwab et Sala-i-Martin, 2014) ; et D_i est une variable muette égale à 1 si $IPP_i > \text{median}(IPP)$ et à 0 dans les autres cas. Q_i^{HC} est un indice du capital humain par personne, représenté par les années de scolarité et le rendement de l'éducation, et Q_i^{PC} est le stock de capital en PPA courante (en milliers de milliards de \$EU de 2011) ; les deux mesures proviennent de la version 9 du Penn World Table (Feenstra *et al.*, 2015). $GDPpc_i$ est le PIB par habitant dans le pays i tiré de la base de données « Gravity » du CEPII (Head *et al.*, 2010 ; Head et Mayer, 2014). z_g^{HC} et z_g^{PC} sont l'intensité de capital humain et l'intensité de capital physique, équivalant à z_2 et k_3 dans Romalis (2004), calculées au moyen des données au niveau du secteur selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (NAICS) provenant du Bureau national de la recherche économique/Centre pour les études économiques du Bureau du recensement des États-Unis (NBER-CES), mises en correspondance avec la Classification internationale type par industrie (CITI) au moyen de la correspondance NAICS 2002/CITI Rev.3.1 tirée du serveur de métadonnées Reference And Management Of Nomenclatures (RAMON) d'EUROSTAT. Toutes les spécifications incluent les effets fixes exportateur, les effets fixes importateur-secteur et la prise en compte des caractéristiques suivantes des paires de pays: distance bilatérale, langue commune, histoire coloniale commune, frontière partagée, appartenance commune à des accords commerciaux régionaux et appartenance commune à l'OMC ; ces indicateurs sont tirés de la base de données « Gravity » du CEPII (Head *et al.*, 2010 ; Head et Mayer, 2014). Toutes les données concernent l'année 2015, sauf pour Q_i^{HC} et Q_i^{PC} (moyenne 2008-2009), z_g^{HC} et z_g^{PC} (2011) et ipi_g (moyenne 2011-2013).

Tableau C.2 de l'appendice : La protection de la propriété intellectuelle comme avantage comparatif – hétérogénéité entre les pays

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Variable dépendante	$\ln(\text{Trade}_{gij})$	$\ln(\text{Trade}_{gij})$	$\ln(\text{Trade}_{gij})$	Trade_{gij}	Trade_{gij}	Trade_{gij}
$ipi_g * IPP_i$	0.0405*** (0.00324)	0.0316*** (0.00327)	0.0301*** (0.00321)	0.120*** (0.0172)	0.0864*** (0.0165)	0.108*** (0.0192)
$ipi_g * IPP_i * D_i$	-0.0177*** (0.00339)	-0.0296*** (0.00327)	-0.0263*** (0.00321)	-0.0943*** (0.0177)	-0.0882*** (0.0165)	-0.107*** (0.0192)
$ipi_g * D_i$	0.0484*** (0.0118)	0.0981*** (0.0114)	0.0832*** (0.0112)	0.334*** (0.0633)	0.329*** (0.0591)	0.400*** (0.0689)
$ipi_g * GDPpc_i$		0.0110*** (0.00056)	0.00799*** (0.000543)		0.0149*** (0.00171)	0.0163*** (0.00162)
$z_g^{HC} * Q_i^{HC}$			2.609*** (0.0776)			-1.484*** (0.326)
$z_g^{PC} * Q_i^{PC}$			-0.0793*** (0.00977)			0.369*** (0.0383)
Observations	366429	365241	364697	861186	852825	836103
R carré ajusté	0.588	0.588	0.591			
Pays exportateurs	103	102	100	100	100	100
Pays importateurs	103	103	103	103	103	103
Nombre de secteurs	82	82	82	82	82	82
Volume du commerce (milliards de \$EU)	10197.6	10196.1	10195.9	10195.9	10195.9	10195.9

Source : Estimations du Secrétariat de l'OMC.

Notes : Voir les notes relatives au tableau C.1 de l'appendice.

Appendice C.3 : Détails relatifs à l'analyse quantitative faite au moyen du modèle de commerce mondial (GTM)

(a) Le modèle de commerce mondial et les projections de base

Le modèle de commerce mondial (GTM) de l'OMC est un modèle d'EGC dynamique récursif basé sur la version modifiée du modèle GTAP (global Trade Analysis Project) de l'Université Purdue (version 7). Cela veut dire qu'il comporte une multiplicité de secteurs, de facteurs de production, des relations intermédiaires, de types de demandes (demande privée, demande publique, demande d'investissement et demande intermédiaire des entreprises), des préférences non homothétiques pour les ménages privés,⁵⁸ un grand nombre de taxes et un secteur du transport mondial. Chaque région se caractérise par un agent représentatif qui collecte les revenus des facteurs et les recettes fiscales et qui les dépense dans des conditions de maximisation de l'utilité pour la consommation privée, la consommation publique et l'épargne. Les entreprises ont un comportement de maximisation du profit, choisissant le dosage optimal de facteurs de production et d'intrants intermédiaires. L'épargne est allouée à l'investissement dans les différentes régions. Le modèle est calibré sur la base de données actuelle du GTAP, qui comprend 141 régions et 57 secteurs, ce qui implique que les parts de base sont égales aux parts réelles.⁵⁹

Le point de départ est une projection de base de l'économie mondiale jusqu'en 2030. Pour les simulations décrites dans la section C.3, on utilise une agrégation avec 16 secteurs, 14 régions et 5 facteurs de production, comme le montre le tableau C.3 de l'appendice. L'agrégation sectorielle comprend les secteurs d'intérêt liés à la numérisation de l'économie tels que les télécommunications, les services aux entreprises et le matériel électronique. Pour mieux comprendre comment certaines des nouvelles économies émergentes sont affectées par la numérisation, on a inclus dans l'agrégation des pays tels que le Brésil et le Nigéria.

Les simulations partent de 2011 et s'appuient sur la version la plus récente du GTAP 9, le GTAP 9.2. Conformément aux approches habituelles, les projections relatives à la croissance du PIB par habitant, de la population, de la population active et des qualifications sont utilisées pour discipliner la trajectoire de l'économie mondiale jusqu'en 2030.

Tableau C.3 de l'appendice : Aperçu général des régions, des secteurs et des facteurs de production

Régions	Secteurs	Facteurs de production
Japon	Agriculture	Terres
Chine	Exploitation et extraction	Main-d'œuvre non qualifiée
Inde	Aliments transformés	Main-d'œuvre qualifiée
ASEAN	Produits chimiques et pétrochimiques	Capital
États-Unis	Autres produits	Ressources naturelles
Brésil	Métaux	
Amérique latine et Caraïbes	Matériel électronique	
Union européenne (28)	Autres machines et véhicules automobiles	
Moyen-Orient et Afrique du Nord	Services publics et construction	
Nigéria	Commerce	
Afrique subsaharienne	Transports	
Autres pays développés*	Communication	
Autres pays d'Asie**	Services et conseils en matière de TIC	
Reste du monde***	Autres services aux entreprises Services financiers et assurance Autres services	

Source : Agrégation des auteurs basée sur les régions, les secteurs et les facteurs de production du GTAP 9.

* Australie, Nouvelle-Zélande, Canada, Norvège, Suisse.

** Tous les autres pays d'Asie.

*** Toutes les autres régions du GTAP.

La croissance de la population, de la population active et des qualifications est imposée sur les projections, et la croissance du PIB par habitant est ciblée en rendant endogène la croissance de la productivité du travail, tout en tenant compte de l'accumulation endogène de capital basée sur la dynamique récursive. La croissance du PIB par

habitant est basée sur les données réelles du Fonds monétaire international (FMI) et sur les projections faites au moyen du modèle de projection mondial du FMI jusqu'en 2014 (Carabenciov *et al.*, 2013). À partir de 2015, on utilise les projections des trajectoires socioéconomiques partagées de l'OCDE (SSP2) (Dellink *et al.*, 2017). La croissance de la population et de la population active est tirée des projections démographiques de l'ONU, variante moyenne pour 2015 (DAES de l'ONU, 2015). Les variations du nombre de travailleurs qualifiés et non qualifiés sont déduites des projections des niveaux d'éducation de l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA) (KC et Lutz, 2017). En particulier, les variations de la part des personnes ayant un niveau d'éducation tertiaire sont utilisées comme indicateurs indirects de la variation de la part des travailleurs qualifiés. Pour tenir compte des changements dans la quantité de terres et de ressources naturelles employées, on utilise des fonctions de l'offre, avec des élasticités de l'offre égales à 1. Tous les autres paramètres sont fixés au niveau des valeurs types fournies par la base de données du GTAP 9.2.

Outre ces sources habituelles, deux autres éléments sont incorporés dans le modèle. Premièrement, pour tenir compte du changement structurel (augmentation de la part de la production de services dans la production totale et diminution des parts de l'agriculture et du secteur manufacturier), on tient compte de la croissance différentielle de la productivité entre les secteurs sur la base des données historiques. Deuxièmement, les taux d'épargne intérieure sont ciblés sur les projections du modèle macroéconomique de l'économie mondiale MaGE du CEPII (Fouré *et al.*, 2013). Dans ce modèle, les taux d'épargne sont déterminés par les évolutions démographiques dans un cadre de cycle de vie. Les taux d'épargne restent virtuellement constants dans le modèle de base, avec une épargne représentant une part Cobb-Douglas des dépenses nationales.

Les résultats des simulations de base sont analogues à ceux de l'analyse sur l'avenir du commerce mondial dans le *Rapport sur le commerce mondial 2013* (OMC, 2013c), de sorte que les résultats ne seront décrits que brièvement. Les simulations de base comportent trois caractéristiques principales. Premièrement, le changement structurel inclus a un impact considérable, avec une augmentation de la part des services dans la production et une diminution des parts du secteur manufacturier et de l'agriculture. Le secteur des industries extractives affiche également une croissance, car il y a peu de possibilité de croissance de la productivité dans ce secteur qui utilise principalement des ressources naturelles. Deuxièmement, la distribution

géographique du commerce évolue, les pays en développement prenant aux pays développés leur position dominante dans le commerce mondial. Les PMA augmentent aussi leur part de marché dans le commerce mondial, même si celle-ci reste faible en 2030. Troisièmement, la distribution sectorielle du commerce suit l'évolution de la production consécutive au changement structurel, avec une augmentation de la part du commerce des services aux dépens du commerce des produits manufacturés.

Bien que certaines prédictions des simulations soient similaires, les simulations actuelles diffèrent de celles du *Rapport sur le commerce mondial 2013* aussi bien dans leur configuration que dans leur orientation. Il y a deux grandes différences de configuration. Premièrement, dans les simulations actuelles, les données de base ne contiennent pas de réduction autonome des coûts du commerce entraînant une hausse du ratio du commerce au revenu sur la base de la croissance du commerce observée dans le passé, comme dans le *Rapport sur le commerce mondial 2013*. Ce choix est fait pour deux raisons. Premièrement, les expérimentations contiennent des réductions des coûts du commerce dues aux nouvelles technologies, ce qui crée une croissance additionnelle du commerce. Deuxièmement, la croissance du commerce a suivi en grande partie celle du revenu durant la première moitié de la décennie actuelle (de 2011 à 2016), avec un ratio de la croissance du commerce à la croissance du PIB proche de 1.

La seconde différence avec les simulations du *Rapport sur le commerce mondial 2013* est que, pour générer des projections de base dans le présent rapport, on a eu recours aux projections macroéconomiques de différents organismes internationaux (ONU pour les projections démographiques, FMI et Banque mondiale pour les projections de la croissance). Dans le *Rapport sur le commerce mondial 2013*, les projections macroéconomiques étaient basées sur un seul modèle macroéconomique, le MaGE.

En termes de résultats, le présent rapport aboutit à des conclusions analogues à celles du *Rapport sur le commerce mondial 2013*. Sur le plan géographique, les deux rapports prédisent une augmentation de la part des pays en développement dans le commerce mondial et, sur le plan sectoriel, ils prédisent une augmentation de la part des services dans le commerce mondial. Toutefois, l'orientation du présent rapport est différente. Alors que le *Rapport sur le commerce mondial 2013* tentait de faire des projections générales sur la trajectoire de l'économie mondiale en général et du commerce

en particulier, les simulations du présent rapport portent principalement sur l'impact des nouvelles technologies sur le commerce mondial.

(b) Modélisation du changement technologique résultant de la numérisation et de la robotisation

Examinons en premier lieu l'ampleur de la variation moyenne de la part du revenu du capital. L'évolution de la part du revenu du capital est modélisée sur la base des tendances historiques. Les données issues de la base de données pour l'Analyse Structurelle (STAN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et celles recueillies par Karabarounis et Neiman (2013) indiquent qu'il y a une tendance de long terme à la baisse de la part des revenus du travail. Elles montrent en outre que cette tendance à la baisse est un phénomène qui se produit exclusivement dans les économies développées. Comme il est difficile de prédire l'ampleur de l'impact de la robotisation sur la part des revenus du travail jusqu'en 2030, nous prenons comme point de référence la baisse historique de la part des revenus du travail. Bekkers et Francois (2018) montrent l'évolution de la part globale des revenus du travail au fil du temps, tant au niveau mondial à partir de données recueillies par Karabarounis et Neiman (2013) que dans les pays de l'OCDE seulement à partir de données issues de STAN. L'analyse révèle que la part du travail est passée de 0,54 en 1980 à 0,48 en 2010, soit une baisse d'environ 0,002 par an. Autrement dit, cela correspond à une réduction de 2 points de pourcentage de la part des revenus du travail par décennie (0,2 point de pourcentage par an).

Deuxièmement, nous examinons la croissance de la productivité moyenne. Plusieurs études ont tenté de faire des projections sur l'augmentation de la productivité due à la robotisation et à la numérisation. Il faut des données sur l'ampleur moyenne de l'augmentation de la productivité et sur sa répartition entre les secteurs et entre les pays. Pour l'ampleur du choc, deux études sont utilisées : Bauer et Horváth (2015) et Boston Consulting Group (2017). La première projette une augmentation de la productivité dans six secteurs jusqu'en 2025 en Allemagne en raison d'« Industrie 4.0 », prédisant une croissance annuelle moyenne de 1,27% jusqu'en 2025. La seconde étude examine l'impact de la robotisation sur la productivité selon les secteurs et les pays, prédisant une baisse moyenne des coûts de 16% jusqu'en 2025 (à partir de 2015). Sur la base de ces études, on prend comme hypothèse une augmentation annuelle moyenne de la productivité de 1,25%.

Troisièmement, nous examinons la variation du degré de numérisation selon les secteurs. Quatre études sur la variation du degré de numérisation et de robotisation selon les secteurs sont utilisées : Bauer et Horváth (2015), Boston Consulting Group (2017), Booz & Company (2011) et McKinsey Global Institute (2015). Ces études donnent une image largement uniforme des secteurs qui bénéficient le plus de la numérisation. Le classement des secteurs dans chacune de ces études a été ajouté, ce qui donne les facteurs d'échelle sectoriels indiqués dans les deux premières colonnes du tableau C.4 de l'appendice.

Quatrièmement, il faut des projections de la variation entre pays de la préparation à la numérisation en rapport avec les changements provoqués par la robotisation et la numérisation. Cette variation est basée sur l'indice de préparation aux réseaux (NRI)

Tableau C.4 de l'appendice : Facteurs d'échelle du choc de la numérisation pour les pays et les secteurs

Secteurs		Régions	
Métaux	0,64	Nigéria	0,71
Aliments transformés	0,65	Afrique subsaharienne	0,77
Agriculture	0,65	Inde	0,84
Autres services	0,66	Amérique latine et Caraïbes	0,86
Transports	0,73	Brésil	0,89
Industries extractives	0,86	Chine	0,93
Services publics	0,87	Association des nations de l'Asie du Sud-Est	0,97
Autres produits	0,87	Moyen-Orient et Afrique du Nord	0,97
Produits chimiques	0,99	Reste du monde	0,99
Autres services aux entreprises	1,05	Autres pays d'Asie	1,14
Commerce	1,07	UE-28	1,16
TIC et services de conseil	1,22	Japon	1,24
Communication	1,23	Autres économies développées	1,25
Services financiers et assurance	1,30	États-Unis	1,29
Autres machines et véhicules automobiles	1,56		
Machines électriques	1,64		

Source : Calculs des auteurs.

du Forum économique mondial (Baller *et al.*, 2018), qui repose sur 53 sous-indices classant les pays en fonction de l'environnement réglementaire et économique relatifs aux TIC, de l'utilisation des TIC, de la préparation (infrastructure, abordabilité et compétences) et de l'impact économique et social. L'indice NRI, qui est disponible pour 139 pays, a été agrégé au moyen de moyennes pondérées par le PIB, ce qui donne les facteurs d'échelle des pays indiqués dans les deux dernières colonnes du tableau C.4 de l'appendice. Dans le scénario de convergence, on suppose que les régions en retard rattrapent le pays qui se situe au 75^{ème} centile en termes de performance par rapport au NRI, et donc aussi par rapport à l'échelle.

(c) Modélisation de la baisse des coûts du commerce

Pour évaluer l'impact du changement technologique sur les coûts du commerce, des indicateurs supplétifs des coûts du commerce de type iceberg ont été régressés sur des variables associées à ces évolutions. En utilisant l'approche proposée à l'origine par Head et Ries (2001) et appliquée, entre autres, par Novy (2013), les coûts du commerce de type iceberg (symétriques) peuvent s'exprimer en tant que ratio des flux commerciaux internationaux aux flux commerciaux intranationaux dans les modèles du commerce à élasticité de substitution constante des préférences tels que ceux d'Armington ou de Krugman (voir l'appendice C.1).

En employant la même méthodologie et les mêmes données que dans l'appendice C.1, on calcule l'équation des coûts du commerce de type iceberg pour les trois secteurs agrégés – primaire (agriculture et industries extractives), secondaire (secteur manufacturier) et tertiaire (services) – au moyen de données provenant de la base de données WIOD pour 2014. Après neutralisation de variables telles que les coûts de transport, l'existence d'un accord de libre-échange et une variable muette pour l'appartenance à l'UE, les variables suivantes ont été incluses pour déterminer l'impact attendu du changement technologique sur les coûts du commerce : i) les délais d'exportation comme mesure des procédures douanières ; ii) l'indice de connectivité des transports maritimes réguliers comme mesure de l'efficacité logistique ; iii) l'indice de profondeur de l'information

sur le crédit et l'indicateur de l'exécution des contrats comme mesure de l'environnement en matière de contrat et de crédit ; et iv) l'existence d'une langue commune comme mesure de l'importance des différences linguistiques. Les trois premières variables sont extraites du projet Doing Business de la Banque mondiale, et la dernière provient du CEPIL. Les variables par pays sont bilatéralisées au moyen de moyennes géométriques.

Sur la base des coefficients estimés, comme pour les autres tendances, un scénario de base et un scénario de convergence ont été élaborés pour la réduction des coûts du commerce. Dans le scénario de convergence, on suppose que les pays affichant de mauvais résultats pour les différentes mesures convergent partiellement vers le niveau du pays situé au 75^{ème} centile en termes de performance. On suppose en particulier que les pays à la traîne rattrapent la moitié de leur retard sur le pays situé au 75^{ème} centile.⁶⁰ Les équivalents *ad valorem* de ces évolutions sont calculés pour tous les pays disponibles dans les bases de données de la Banque mondiale et du CEPIL et sont agrégés jusqu'au niveau des régions agrégées à l'aide de moyennes pondérées par les échanges bilatéraux par secteur. En raison du manque de renseignements concernant l'impact des changements technologiques sur les coûts du commerce, nous élaborons un scénario de base avec des réductions identiques des coûts du commerce dans toutes les régions et tous les secteurs, de sorte que la réduction moyenne des coûts du commerce pondérée par les échanges est la même que dans le scénario de convergence.

Les équivalents *ad valorem* sont mis en correspondance avec les variations annuelles, de sorte que les coûts du commerce baissent conformément à ce que prévoient les estimations empiriques et le scénario de convergence sur une durée de 15 ans. Le tableau C.5 de l'appendice indique les réductions annuelles des coûts du commerce pondérées par les échanges, qui varient selon les régions (employées dans le scénario de base et le scénario de convergence) et selon les régions importatrices (employées dans le scénario de convergence). Comme le montre clairement le tableau, la réduction annuelle moyenne des coûts du commerce est d'environ 1%, et la réduction est la plus forte dans le scénario de convergence pour les régions les moins avancées.

Tableau C.5 de l'appendice : Réductions annuelles des coûts du commerce en équivalents *ad valorem* résultant du changement technologique, moyennes par région importatrice et secteur

Régions	Total	Langue commune	Délais d'exportation	Indice de connectivité des transports maritimes réguliers	Crédit et contrats
Afrique subsaharienne	-1,30	-0,34	-0,22	-0,21	-0,54
Reste du monde	-1,05	-0,42	-0,23	-0,34	-0,08
Moyen-Orient et Afrique du Nord	-0,91	-0,35	-0,19	-0,16	-0,21
Nigéria	-0,87	-0,30	-0,35	-0,12	-0,10
Autres pays d'Asie	-0,85	-0,33	-0,09	-0,13	-0,30
Association des nations de l'Asie du Sud-Est	-0,78	-0,35	-0,07	-0,15	-0,22
UE-28	-0,78	-0,41	-0,08	-0,14	-0,15
Brésil	-0,76	-0,43	-0,14	-0,06	-0,12
Amérique latine et Caraïbes	-0,66	-0,21	-0,18	-0,12	-0,15
Autres économies développées	-0,63	-0,33	-0,04	-0,20	-0,06
Inde	-0,60	-0,26	-0,10	-0,06	-0,18
Japon	-0,59	-0,39	-0,10	-0,03	-0,08
Chine	-0,56	-0,35	-0,10	0,00	-0,12
États-Unis	-0,43	-0,25	-0,11	-0,01	-0,06
Produits					
Transports	-1,27	-0,68	-0,21	-0,30	-0,09
Communications	-1,25	-0,68	-0,20	-0,30	-0,09
TIC et services de conseil	-1,24	-0,63	-0,21	-0,28	-0,12
Autres services aux entreprises	-1,23	-0,69	-0,19	-0,27	-0,09
Commerce	-1,21	-0,70	-0,19	-0,24	-0,09
Aliments transformés	-1,17	-0,48	-0,18	-0,19	-0,34
Autres services	-1,16	-0,64	-0,23	-0,23	-0,07
Services financiers et assurance	-1,14	-0,66	-0,19	-0,22	-0,08
Services publics	-1,10	-0,55	-0,20	-0,30	-0,06
Produits chimiques	-0,79	-0,33	-0,13	-0,11	-0,22
Agriculture	-0,75	-0,48	0,00	-0,12	-0,15
Métaux	-0,62	-0,26	-0,10	-0,09	-0,18
Autres produits	-0,60	-0,27	-0,10	-0,07	-0,16
Autres machines	-0,59	-0,27	-0,10	-0,07	-0,16
Machines électriques	-0,48	-0,22	-0,08	-0,04	-0,15
Industries extractives	-0,36	-0,22	0,00	-0,06	-0,08

Source : Calculs des auteurs.

Notes

- 1 Les coûts de transport sont importants pour les modes de fourniture qui impliquent un déplacement, comme la consommation à l'étranger (par exemple le tourisme) et la présence d'une personne physique (par exemple la fourniture de services personnels à l'étranger). Ils peuvent être importants aussi lorsque la fourniture transfrontières nécessite une communication directe et donc un déplacement professionnel.
- 2 Les coûts de transport et de logistique peuvent être élevés pour les services car ils le sont aussi pour les marchandises. De récentes données empiriques suggèrent que l'exportation de nombreux services aux entreprises, services financiers et services de transport sont liés à l'exportation de marchandises, au point que certains des obstacles qui entravent les flux de marchandises généralement exportées avec un service ont aussi des conséquences pour les flux de services (Ariu *et al.*, 2018).
- 3 L'un des indicateurs indirects des coûts d'information est le nombre de migrants en provenance du partenaire commercial. Bien qu'il ait été démontré dans la littérature que les réseaux de migrants facilitent la recherche de partenaires commerciaux et l'exécution des contrats passés avec eux, la variable peut aussi indiquer l'impact des migrants sur la similarité des goûts des consommateurs, car les migrants ont tendance à conserver les préférences de consommation de leur pays d'origine (Rauch, 2001 ; Rauch et Trindade, 2002 ; Felbermayr *et al.*, 2015 ; Parsons et Vézina, 2018).
- 4 Si l'échantillon comprend 100 pays, le 75^{ème} percentile correspond au 75^{ème} rang et la médiane correspond au 50^{ème} rang.
- 5 Ceux-ci comprennent l'utilisation des télécommunications, des technologies à bord des véhicules, du génie électrique et de l'informatique pour le suivi des véhicules, des conteneurs et des remorques et la gestion des flottes.
- 6 Même si les coûts de transport sont ramenés à zéro, la distance continuera probablement à jouer un rôle, car elle influe sur la similarité des goûts. Comme l'ont montré Blum et Goldfarb (2006), la navigation sur Internet reflète la constatation empirique bien établie dans la littérature sur le commerce, selon laquelle le commerce bilatéral diminue avec la distance. Autrement dit, même dans le cas d'un produit dont le coût d'expédition est nul, les consommateurs sont plus enclins à visiter les sites Web des pays proches que ceux des pays lointains. Cette relation entre la distance et les visites de sites Web est évidente pour les catégories de produits qui dépendent des goûts, comme la musique ou les jeux, mais elle n'est pas importantes pour les catégories qui ne dépendent pas des goûts, comme les logiciels.
- 7 Par contraste, dans les transactions entre consommateurs, la part de marché des banques est de 60%.
- 8 Plus précisément, la marge de revenu des banques dans les transactions transfrontières est de 20%, contre 2% dans les transactions intérieures. Le calcul du revenu tient compte des frais de transaction, des intérêts perçus et des commissions de change (McKinsey & Company, 2016).
- 9 Selon Zervas *et al.* (2017), 70% des offres d'Airbnb sont en dehors des quartiers centraux, où se trouvent de nombreux hôtels.
- 10 Les statistiques de la balance des paiements ne prennent pas en compte le commerce des services par le biais d'une présence commerciale (mode 3), qui représente, selon les estimations, la majeure partie du commerce des services dans le monde. À l'exclusion des « voyages », les statistiques de la balance des paiements sur le commerce des services concernent essentiellement le mode 1.
- 11 Selon un rapport du Cleantech Group, la personne qui loue un logement partagé utilise environ 63% à 71% d'énergie en moins que le client d'un hôtel en Amérique du Nord. Dans l'UE, ce pourcentage est de l'ordre de 78% à 84%.
- 12 Il faut noter que les produits visés par l'ATI ne sont pas tous des « produits des TIC » selon la définition donnée à l'origine par l'OCDE, puis adaptée par la CNUCED en collaboration avec la Division de statistique de l'ONU. Voir OECD Guide on Measuring the Information Society 2011 à l'adresse suivante : <http://www.oecd.org/fr/sti/ieconomie/oecdguidetomeasuringtheinformationsociety2011.htm>. Néanmoins, l'ATI élargi couvre jusqu'à 80% des codes de produits repris dans la définition des produits des TIC, et ces produits représentent encore la majeure partie des importations de produits visés par l'ATI (CNUCED, 2015).
- 13 Les auteurs définissent les produits agricoles sensibles au facteur temps comme les produits ayant une durée de conservation maximale de deux semaines, par exemple les abricots, les haricots, les raisins de Corinthe et les champignons. En comparaison, les produits agricoles non sensibles au facteur temps sont définis comme ceux qui ont une durée de conservation égale ou supérieure à quatre semaines, par exemple les pommes, les canneberges et les pommes de terre.
- 14 Nunn (2007) qualifie un intrant de « spécifique à la relation » s'il n'est pas vendu sur un marché organisé ou n'a pas de prix de référence dans une publication commerciale.
- 15 Par exemple, un site Web appelé « Totally Chocolate » permet aux utilisateurs de créer et commander des barres chocolatées personnalisées qu'ils configurent eux-mêmes à partir de 4 chocolats de base et de 100 garnitures différentes.
- 16 Voir l'Appendice 1 du document officiel de l'OMC JOB/GC/114 (consultable via la fonction « Documents en ligne » du site <https://www.wto.org/>) pour une liste complète des produits numérisables, avec leurs codes dans la Classification type pour le commerce international.
- 17 Une préoccupation importante à cet égard est la relocalisation potentielle des activités peu ou moyennement qualifiées, qui est examinée dans la section C.2 c).
- 18 Chen *et al.* (2005) notent que le commerce des produits intermédiaires importés et utilisés pour fabriquer des produits qui sont ensuite exportés (c'est-à-dire le « commerce de spécialisation verticale » comme le définissent Hummels *et al.*, 2001) a augmenté entre la fin

des années 1960 et la fin des années 1990 dans les dix pays de l'OCDE de leur échantillon (Allemagne, Australie, Canada, Danemark, États-Unis, France, Italie, Japon, Pays-Bas et Royaume-Uni).

- 19 Los *et al.* (2015) constatent une fragmentation internationale de la production (part étrangère plus importante dans la valeur des produits finals) dans un échantillon de 35 secteurs dans 40 pays entre 1995 et 2008. En particulier, les parts de valeur ajoutée étrangère ont augmenté en moyenne d'environ 20% (voir aussi Timmer *et al.*, 2014). Johnson et Noguera (2012) et Baldwin et López-González (2015) montrent aussi que les chaînes d'approvisionnement se sont fragmentées de manière générale entre 1995 et 2009.
- 20 Bems et al. (2011) montrent qu'entre le premier trimestre de 2008 et le premier trimestre de 2009, le commerce mondial réel a chuté de 15%, soit environ quatre fois plus que le PIB réel (3,7%). Selon ces auteurs, le commerce de spécialisation verticale (différence entre le commerce brut et le commerce en valeur ajoutée) a reculé de 12,9%, alors que le commerce en valeur ajoutée a un peu moins baissé, de 10,3%. Par conséquent, la spécialisation verticale a joué un rôle modéré dans l'amplification de l'effondrement du commerce.
- 21 Il n'entre pas dans le cadre du présent rapport d'examiner en détail tous les facteurs qui déterminent l'intégration des CVM. Le lecteur intéressé peut consulter l'enquête réalisée par Amador et Cabral (2016).
- 22 Juhász et Steinwender (2018) montrent, dans le cas de l'industrie textile du coton, que la connexion au réseau mondial de télégraphie (la première des TIC) a accru le commerce des produits intermédiaires beaucoup plus que celui des produits finals. Cela était dû à des différences de codifiabilité, c'est-à-dire à la mesure dans laquelle les spécifications des produits pouvaient être communiquées à distance en utilisant seulement des mots (et donc en envoyant des télégrammes), par opposition à l'inspection d'un échantillon du produit.
- 23 « Araignées » et « serpents » sont des références théoriques. Les processus de production fragmentés comportent normalement une combinaison des deux formes, comme l'expliquent Diakantoni *et al.* (2017).
- 24 La téléconférence est une conférence entre plusieurs personnes situées dans des lieux différents. La vidéoconférence offre en plus la possibilité de voir, et pas seulement d'entendre, tous les participants. La conférence virtuelle permet à des participants éloignés de faire une expérience virtuelle en leur donnant l'impression de pouvoir se déplacer dans la pièce.
- 25 The Economist (2018a), citant une étude d'IHL, indique qu'en 2015, le coût du surstockage pour les entreprises était d'environ 470 milliards de dollars EU et celui du sous-stockage de 630 milliards de dollars EU au niveau mondial.
- 26 Voir Korpela *et al.* (2017) pour une explication de la façon dont l'intégration des chaînes de valeur au moyen de la technologie des chaînes de blocs peut transformer les chaînes et les réseaux d'approvisionnement numériques.
- 27 Pour des estimations empiriques des effets d'accumulation des coûts du commerce, voir Rouzet et Miroudot (2013) et Muradov (2017).
- 28 Plus de 70% des importations mondiales de services consistent en services intermédiaires (De Backer et Miroudot, 2014). Il faut noter que, quand le processus de production d'un service final est fragmenté, la valeur est souvent créée non pas le long de chaînes de valeurs linéaires et séquentielles mais plutôt par l'établissement de liens entre les consommateurs (on parle de « réseau de valeur », comme dans les services d'assurance ou les services bancaires) ou par la résolution des problèmes des clients (on parle d'« atelier de valeur », comme dans les services professionnels). Voir Miroudot et Cadestin (2017).
- 29 Cette observation évoque la « courbe du sourire », c'est-à-dire le fait que la contribution de la valeur ajoutée provenant des services antérieurs et postérieurs à la production est plus élevée que la contribution provenant du processus de fabrication effectif des biens (Baldwin, 2016). Selon l'OMPI (2017), la « courbe du sourire » indique que le capital immatériel, que ce soit sous la forme de technologie, de design, de valeur de la marque, ou encore de compétences des employés et de savoir-faire en matière de gestion, revêt une importance croissante. Comme une grande partie de ce capital dépend de la protection de la PI, la concession de licences peut être considérée comme un mécanisme allouant des intrants de production « immatériels » dans les CVM sous la forme de technologies intégrées, de savoir-faire industriel, de conception de produits ou de marque. Voir aussi, dans la section C.2 b), l'analyse du rôle de la protection des DPI dans l'avantage comparatif.
- 30 Lorsque la division nationale du travail s'approfondit dans les économies émergentes, la quantité d'intrants intermédiaires produits localement augmente. Avec l'allongement des chaînes de valeur nationales, les activités de partage transfrontières de la production peuvent diminuer.
- 31 Il n'entre pas dans le cadre du présent rapport d'examiner en détail tous les facteurs (y compris ceux qui ne sont pas liés aux évolutions technologiques) qui peuvent entraîner dans l'avenir une diminution du commerce dans les CVM et une relocalisation. Le lecteur intéressé est renvoyé à De Backer *et al.* (2016) ; Standard Chartered (2016) ; et De Backer et Flaig (2017).
- 32 Anciennement Engineering Employers' Federation.
- 33 La tendance à l'augmentation des importations des entreprises multinationales apparaît aussi quand on pondère les importations par les ventes. Utilisant des indicateurs supplémentifs de délocalisation légèrement différents provenant de la base de données du recensement des États-Unis sur le commerce entre parties associées, Oldenski (2015) montre que la tendance à l'augmentation des importations des entreprises multinationales s'est poursuivie de 2012 à 2014.
- 34 Les usines sans lumière sont littéralement des usines où les lumières sont éteintes, car elles n'ont pas besoin d'une présence humaine sur place. Très peu d'usines fonctionnent actuellement sans présence humaine (et pas tout le temps), de sorte que le concept d'usine sans lumière est théorique pour l'instant. Il faut noter que les usines entièrement robotisées n'ont besoin ni de lumière ni de chauffage. Pour avoir une idée de l'énorme contraste avec les usines « traditionnelles », il faut considérer que la productivité des travailleurs (humains) dépend d'un chauffage approprié (dans les pays froids) et d'une

- climatisation appropriée (dans les pays chauds). En outre, elle dépend non seulement de l'éclairage adéquat du milieu de travail, mais aussi de la qualité des lampes installées. Le remplacement des ampoules fluorescentes classiques par des ampoules LED, qui émettent moins de chaleur, améliore considérablement les conditions de travail et la productivité dans les usines de Bangalore (Inde) (Adhvaryu *et al.*, 2018).
- 35 Markoff (2012) cite le cas de l'usine de rasoirs Philips à Drachten (Pays-Bas). Au lieu de déplacer le segment supérieur de sa ligne de production en Chine, Philips a ouvert cette usine avec 128 robots capables de se déplacer en 2 secondes et de produire environ 15 millions de rasoirs par an. D'après l'auteur, les tâches exécutées par ces robots nécessitent de la dextérité.
- 36 Dachs *et al.* (2017) mesurent la relocalisation (qu'ils appellent « backshoring ») comme une variable muette égale à 1 si l'entreprise a relocalisé sa production en 2013 ou 2014 et à 0 dans les autres cas. La principale variable explicative, la préparation à l'industrie 4.0, est un indice allant de 0 à 5 qui est construit à l'aide de données sur l'adoption par l'entreprise de systèmes de gestion numérique, de systèmes de communication homme-machine sans fil et de systèmes cyberphysiques (CPS). Les données proviennent de l'European Manufacturing Survey 2015.
- 37 Dans une enquête réalisée en 2014 auprès de 114 fabricants industriels aux États-Unis (PwC, 2014), 37,7% des entreprises interrogées ont indiqué qu'elles utilisaient la technologie d'impression 3D, mais la majorité d'entre elles (24,6%) ont dit que cette technologie ne servait que pour le prototypage, 9,6% ont dit qu'elle servait pour le prototypage et la production, et 3,5% seulement ont indiqué qu'elle servait à fabriquer des produits finaux, des composants ou des produits qui ne pouvaient pas être fabriqués avec les méthodes traditionnelles. De même, De Backer et Flaig (2017) indiquent que 15% seulement de l'impression 3D concerne actuellement des produits (produits finaux, mais surtout pièces intermédiaires), la majorité étant des modèles, des outils et des prototypes.
- 38 Le GTM a été élaboré par une équipe du Global Trade Analysis Project (GTAP) de l'Université Purdue en coopération avec la Division de la recherche économique et des statistiques de l'OMC.
- 39 Baser les tendances sur le passé est une approche conservatrice de l'augmentation de la part des revenus du capital, étant donné que les changements technologiques conduisant à l'augmentation de la part du capital, tels que la robotisation et l'IA, devraient s'accélérer. De plus, en ce qui concerne la servicification, l'utilisation des tendances du passé est probablement une approche conservatrice, étant donné les tendances décrites précédemment dans ce rapport, comme la numérisation et l'IA.
- 40 Si la répartition initiale des tâches est optimale, une redistribution n'aura pas d'effet sur la productivité, application du théorème de l'enveloppe.
- 41 Cette hypothèse peut être rationalisée sur la base du cadre théorique d'une redistribution des tâches, bien que d'autres combinaisons (plus forte variation de la croissance de la productivité que de la part du revenu du capital, par exemple) puissent également se justifier.
- 42 L'approche de cette section s'inspire en partie de De Backer et Flaig (2017). Sur la base de l'étude allemande de Bauer et Horváth (2015) sur l'industrie 4.0, De Backer et Flaig définissent également des scénarios pour l'impact différencié de la numérisation sur la croissance de la productivité entre les secteurs et les pays, conduisant à des taux de croissance de la productivité sectorielle et à des facteurs d'échelle pour les pays, comme dans notre étude.
- 43 Les résultats de la simulation sont disponibles sur demande.
- 44 On prévoit également que la servicification augmentera la prime de qualification, parce que les services des TIC exigent des compétences relativement élevées.
- 45 On trouve le même résultat quand on modélise seulement la redistribution des tâches.
- 46 Ni De Backer et Flaig (2017) ni la présente étude ne tiennent compte des effets d'une technologie potentiellement disruptive, la fabrication additive. Comme indiqué ailleurs dans le rapport, cette technologie pourrait réduire considérablement le commerce international des marchandises. Cette technologie n'est pas prise en compte dans les simulations quantitatives car on n'a pas assez d'informations à son sujet et son évolution est très incertaine.
- 47 Nous faisons l'analyse séparément pour les marchandises et pour les services. Par conséquent, dans ce qui suit, nous omettons l'exposant k du secteur.
- 48 Les lettres en caractères gras indiquent des vecteurs de coefficients multiples.
- 49 Si un pays est sans littoral, on prend la moyenne de ses voisins. La variable vient de la CNUCED (<http://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=92>).
- 50 Source : Banque mondiale (<https://lpi.worldbank.org/>).
- 51 Source : Banque mondiale (<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/LP.EXP.DURS.MD?view=chart>).
- 52 Source : Banque mondiale (<http://www.worldbank.org/en/topic/migrationremittancesdiasporaissues/brief/migration-remittances-data>).
- 53 Les deux variables viennent du projet Doing Business de la Banque mondiale (<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/IC.CRD.INFO.XQ?view=chart> et <http://www.doingbusiness.org/data/exploretopics/enforcing-contracts>).
- 54 Source : Banque mondiale (<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/PA.NUS.FCRF>).
- 55 α_i sont les effets fixes exportateur, α_{gj} sont les effets fixes importateurs-secteur, $(\text{ipi}_g * \text{GDPpc}_i)$ est une interaction de l'intensité de PI du secteur et du PIB par habitant, $\delta^a(z_g^a * Q_1^a)$ sont les mesures de l'avantage comparatif pour le capital humain ($a=HC$) et le capital physique ($a=PC$), X_{ij} est un vecteur prenant en compte les caractéristiques de la paire de pays : distance bilatérale, langue commune, histoire coloniale commune, frontière partagée, appartenance commune à des accords commerciaux régionaux et appartenance commune à l'OMC. L'utilisation combinée des effets fixes exportateur et importateur-secteur est courante dans la littérature sur ce sujet – voir, par exemple, Chor (2010) et Nunn et Treffer (2014).

- 56 Les résultats résistent également si l'on utilise un autre indice comparant la force de la protection conférée par les brevets entre les pays pour l'année 2005, tiré de Park (2008).
- 57 Comme les estimations MCO pourraient être incompatibles et biaisées en raison de termes d'erreur hétéroscédastiques (c'est-à-dire dispersés de façon non égale) et de l'omission des flux commerciaux nuls, nous estimons la même spécification sous forme exponentielle en utilisant l'estimateur du pseudo-maximum de vraisemblance de Poisson (PPML), comme le proposent Santos Silva et Tenreyro (2006). Les résultats ainsi obtenus (tableaux C.1 et C.2 de l'appendice, colonnes 4 à 6) confirment dans la plupart des cas les résultats de la spécification MCO.
- 58 Les préférences non homothétiques ont des élasticités de revenu non unitaires et permettent donc de prendre en compte l'évolution des parts de budget à mesure que les pays grandissent.
- 59 Bekkers et Francois (2018) décrivent les différences entre le GTM et le modèle GTAP.
- 60 Conformément à cette approche, on suppose que l'impact négatif de l'absence de langue commune sur les coûts du commerce diminue de moitié.