

Les modes de diffusion du savoir

L'accélération de la diffusion du savoir-faire est un atout majeur de la mondialisation

Johannes Eugster, Giang Ho, Florence Jaumotte
et Roberto Piazza

Une entreprise chinoise a construit un village de 10 maisons avec une imprimante en 3-D en moins d'une journée en 2014. Un tronçon d'autoroute à énergie solaire, qui transforme la lumière du soleil en électricité et la transmet directement au réseau électrique, a ouvert l'an dernier à Jinan, dans l'Est de la Chine. Il y a quelques années, la Corée a mis en service une route qui recharge sans fil les véhicules électriques à mesure qu'ils roulent. Ce n'est qu'un petit nombre d'exemples des prodigieux progrès technologiques accomplis ces dernières

décennies par des pays comme la Corée et, plus récemment, la Chine.

Jusqu'à dernièrement, la production du stock mondial de connaissances et de technologies était l'apanage d'un petit nombre de grands pays industrialisés. Entre 1995 et 2014, les trois quarts des innovations brevetées dans le monde étaient originaires des pionniers technologiques du Groupe des Cinq (G-5) : États-Unis, Japon, Allemagne, France et Royaume-Uni. Toutefois, la mondialisation et les progrès des technologies de l'information ont permis

PHOTO : ISTOCK/WANGANGI

au savoir de se diffuser considérablement plus vite et plus loin, offrant aux pays émergents des possibilités accrues d'apprendre auprès d'autres pays technologiquement avancés et de constituer leur propre capacité d'innovation.

Dans notre étude, qui repose sur les travaux de Giovanni Peri (2005), nous analysons l'intensité de la diffusion technologique, son évolution au cours des vingt dernières années, et ses conséquences pour le paysage de l'innovation. Il est essentiel de comprendre avec précision les modes de diffusion du savoir : le transfert de technologie est fondamental pour diffuser les connaissances et améliorer les revenus et les niveaux de vie dans le monde.

Naissance de nouveaux innovateurs

Lorsqu'un inventeur dépose une demande de brevet pour protéger sa propriété intellectuelle, il doit citer les connaissances préalables sur lesquelles repose son innovation dans le domaine concerné, notamment les brevets déposés par d'autres inventeurs. Le nombre de citations croisées entre brevets permet donc d'évaluer directement les flux de connaissances. Dans notre étude, nous avons analysé les citations de la base de données mondiale sur les brevets, PATSTAT, qui renferme plus de 100 millions de documents de brevet. Ce mode d'évaluation n'est pas sans inconvénient, car il ne rend pas compte de tous les flux de connaissances : il n'inclut pas, par exemple, les flux informels difficiles à mesurer, ni les violations de brevets. Il constitue toutefois un bon point de départ pour estimer la diffusion du savoir-faire entre pays, dans la mesure où il est mesurable et systématiquement enregistré (graphique 1).

En 1995, les citations de brevets dans le monde étaient dominées par les États-Unis, l'Europe et le Japon, mais, ces dernières années, la Corée et la Chine ont puisé de plus en plus dans le stock mondial de connaissances, à en juger par leur nombre de citations.

Une analyse plus précise de ces citations croisées entre brevets, pour évaluer l'intensité de la diffusion du savoir, montre aussi que la proportion de flux de connaissances depuis les pionniers technologiques du G-5 vers les pays émergents (outre la Chine et la Corée) a augmenté ces vingt dernières années. En revanche, la proportion de flux de connaissances depuis le G-5 vers d'autres pays avancés est restée globalement stable, et a même légèrement diminué depuis la crise financière mondiale.

Les pays émergents ont pu profiter de ce meilleur accès aux connaissances mondiales pour renforcer leur capacité d'innovation et leur productivité. Il s'avère que les flux de connaissances émanant du G-5 donnent un élan formidable à l'innovation (mesurée par le nombre de demandes de brevets) et à la productivité des pays, à la fois avancés et émergents. Une augmentation de 1 % des flux de connaissances à partir du G-5, par exemple, est associée en moyenne à une hausse de 33 % des demandes de brevets dans le secteur du pays destinataire, si l'ampleur des activités de recherche et développement (R&D) du

pays reste constante. En outre, cet effet n'a cessé de s'intensifier, surtout dans les pays émergents.

Rôle de la R&D

Ce rattrapage a donné naissance à de nouveaux innovateurs dans le monde. Bien que nos résultats s'appliquent de manière générale aux pays émergents, la Corée, pays avancé depuis 1997, et la Chine se démarquent, en partie parce que ce sont de grandes économies. Ces deux pays ont rejoint le groupe des cinq pays les plus innovateurs, aussi bien en fonction de leur nombre de demandes de brevets que de leur montant de dépenses de R&D (graphique 2). Cette réussite est due en partie à ce qu'ils ont appris grâce au transfert de connaissances et de technologies, mais elle a aussi été facilitée par les considérables investissements de ces deux pays en R&D, et plus généralement par leurs systèmes éducatifs qui ont permis à leurs citoyens de mieux comprendre et appliquer ces technologies.

La R&D au niveau national a un double objectif : elle peut non seulement encourager la mise au point de nouvelles technologies, mais aussi aider un pays à absorber les technologies étrangères existantes. Selon l'Organisation de coopération et de développement économiques, principale source de ces données, la Chine a multiplié par neuf ses dépenses de R&D depuis le début des années 2000, jusqu'à 375 milliards de dollars par an (en termes constants et en termes corrigés de la parité de pouvoir d'achat). La Chine n'est plus devancée dans ce domaine que par les États-Unis (460 milliards de dollars) et dépasse nettement le Japon (150 milliards de dollars). La Corée, dont les dépenses de R&D s'établissent à 70 milliards de dollars par an, est proche de la moyenne de grands pays européens, tels que l'Allemagne, la France et le Royaume-Uni.

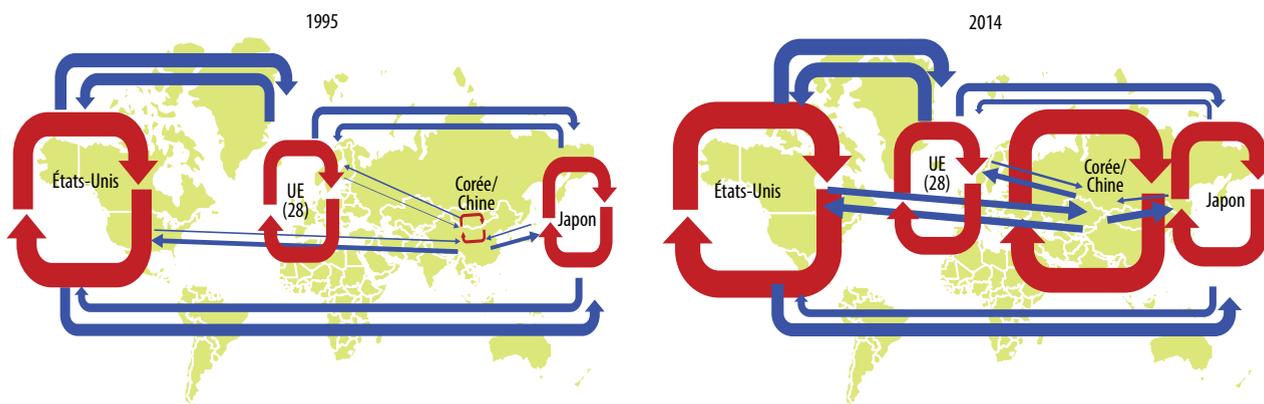
L'augmentation du nombre de demandes de brevets est une autre façon de mesurer l'ascension de la Corée et de la Chine. Selon un examen des familles de brevets internationales, en limitant le décompte des brevets aux demandes déposées auprès de deux offices différents des brevets au minimum pour exclure les brevets de plus faible valeur, la Chine et la Corée font breveter chacune 20.000 inventions par an. Bien que ce niveau reste considérablement inférieur à ceux des États-Unis et du Japon (près de 60.000 brevets dans chaque cas), le nombre de demandes de brevets de la part de la Chine et de la Corée est comparable à la moyenne en Allemagne, en France et au Royaume-Uni. Une analyse plus poussée des types de brevets par secteur économique montre que l'augmentation des demandes de brevets en Chine et en Corée est particulièrement prononcée dans les secteurs des équipements électriques et optiques et, pour la Corée, dans celui des équipements mécaniques également.

La concurrence : bonne ou mauvaise ?

L'accession de la Corée et, plus récemment, de la Chine au statut d'innovateurs mondiaux est une évolution

Quelle différence en l'espace de deux décennies

En 1995, la plupart des brevets étaient originaires des États-Unis, d'Europe et du Japon. Aujourd'hui, la Chine et la Corée sont devenues des innovateurs mondiaux.



Sources : Office européen des brevets, base de données PATSTAT ; calculs des services du FMI.

Note : Le graphique représente l'évolution des flux de citations entre (en bleu) et dans (en rouge) les principaux pays et régions. Pour une année donnée, l'épaisseur des flèches est proportionnelle aux nombres respectifs de citations. Pour des questions de visibilité, l'augmentation des citations dans le temps ne peut pas être indiquée proportionnellement (facteur d'échelle approximatif entre 2014 et 1995 de 1,5 sur le graphique, de 2,5 en réalité). UE (28) = AUT, BEL, BGR, CYP, CZE, DEU, DNK, ESP, EST, FIN, FRA, GBR, GRC, HRV, HUN, IRL, ITA, LTU, LUX, LVA, MLT, NLD, POL, PRT, ROU, SVK, SVN, SWE. Les codes pays de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) sont utilisés.

extraordinaire qui laisse présager d'une amélioration des niveaux de vie pour une grande part de la population mondiale. Mais cette évolution décourage-t-elle l'innovation chez les pionniers technologiques traditionnels, et pourrait-elle avoir contribué au ralentissement mondial de la productivité ? Bien que notre analyse n'aborde pas directement cette question, nous estimons que ce n'est pas le cas, et voici pourquoi.

Premièrement, les pionniers technologiques bénéficient à la fois directement et indirectement de l'exportation de leurs technologies et de leurs connaissances. Ils en bénéficient directement en vendant ces technologies à d'autres pays (intégrées dans des équipements ou sous forme de licences de brevets). Bien entendu, cela implique le respect des droits de propriété intellectuelle pour assurer que l'acquéreur paye cette technologie à sa juste valeur. Mais les pionniers technologiques peuvent aussi en bénéficier indirectement : la hausse de la productivité dans les autres pays entraîne une hausse des revenus, qui stimule la demande d'exportations de façon plus générale, notamment en provenance des pionniers technologiques traditionnels.

Deuxièmement, et de façon plus subtile, l'une des grandes caractéristiques du savoir, à la différence d'autres biens, est qu'il est « non rival ». Le fait qu'une personne ait connaissance d'une information et l'utilise n'empêche personne d'en avoir aussi connaissance et de l'améliorer. Par conséquent, les connaissances acquises par des travaux de recherche antérieurs, qu'ils soient nationaux ou étrangers, devraient accroître la productivité de futurs travaux de recherche (Grossman et Helpman, 1991). À mesure que les inventeurs chinois et coréens élaborent de nouveaux concepts et contribuent au stock mondial de connaissances, les innovateurs des grands pays pionniers traditionnels de

la technologie (et bien entendu du monde entier en général) peuvent aussi bénéficier de ces nouvelles connaissances.

Selon les données sur les citations croisées entre brevets, ce cercle vertueux du savoir semble déjà se produire : les inventeurs des pays du G-5 citent de plus en plus souvent des brevets chinois, par exemple. Les citations de brevets chinois sont pratiquement aujourd'hui du même ordre de grandeur que les citations par le G-5 de brevets d'autres pays avancés. Notre analyse montre que les flux de connaissances ne vont pas que dans un sens, depuis les leaders technologiques vers les autres pays. Les grands pionniers traditionnels de la technologie profitent des innovations des autres et en tirent même un plus grand parti que d'autres pays (non pionniers technologiques) (Chen et Dauchy, 2018).

Troisièmement, la concurrence croissante de la Chine et d'autres pays émergents sur les marchés mondiaux a été un moteur d'innovation et de diffusion technologique. Malgré la complexité de la relation entre concurrence et innovation, notre analyse montre que, dans la plupart des pays et des secteurs, l'innovation et l'adoption de technologies étrangères ont été stimulées par l'intensification de la concurrence, qu'elle soit mesurée en fonction de la pénétration des importations en provenance de Chine, ou de la baisse de concentration des ventes dans le monde, liée à l'essor des entreprises des marchés émergents. Même si ces faits reposent sur l'expérience des pays avancés et émergents hors G-5, ils semblent néanmoins indiquer que la concurrence a été une force motrice de l'innovation.

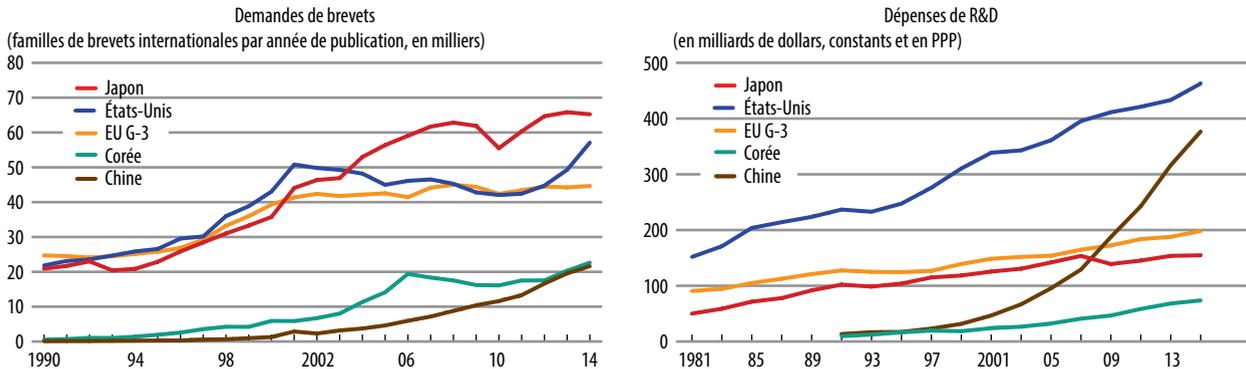
Sur un pied d'égalité

Selon une analyse de la trajectoire de l'innovation aux États-Unis, les dépenses totales de R&D poursuivent leur

Graphique 2

Bienvenue au club

La Corée et la Chine ont rejoint le groupe des cinq pays les plus innovateurs, aussi bien en fonction de leur nombre de demandes de brevets que de leur montant de dépenses de R&D.



Sources : Office européen des brevets, base de données PATSTAT ; Organisation de coopération et de développement économiques ; calculs des services du FMI.
Note : UE G-3 = Allemagne, France et Royaume-Uni ; PPP = parité de pouvoir d'achat ; R&D = recherche et développement.

solide progression. Toutefois, les demandes de brevets et la productivité totale des facteurs semblent se stabiliser. Il est probable, cependant, que cette croissance plus faible de la productivité s'explique par un ralentissement temporaire des innovations au cours de la transition entre deux grandes vagues novatrices : la révolution des technologies de l'information et de la communication du milieu des années 90 et la révolution très attendue de l'automatisation et de l'intelligence artificielle (Brynjolfsson, Rock et Syverson, 2017). D'autres facteurs structurels et conjoncturels ont probablement aussi joué un rôle (Adler *et al.*, 2017).

En résumé, la diffusion de la technologie et l'apparition de nouveaux innovateurs mondiaux ne nuisent probablement pas aux pays traditionnellement innovateurs : la concurrence est depuis longtemps un moteur fondamental de l'ingéniosité et de l'innovation. Mais il importe que tous les pays soient sur un pied d'égalité : les droits de propriété intellectuelle doivent être bien conçus et respectés. Les pays du G-5 ont de nombreuses inquiétudes, notamment à l'égard de la Chine, car ils craignent d'être contraints à un transfert de technologie à des conditions hors marché défavorables en échange de l'accès à l'un des marchés les plus vastes et dont la croissance est l'une des plus rapides au monde.

Enfin, pour assurer l'avenir de l'innovation et de la diffusion de la technologie, le respect des droits de propriété intellectuelle est impératif. Sans lui, le monde pourrait connaître un repli des grandes découvertes, car les innovateurs ne seraient pas en mesure de recouvrer leurs coûts. La protection des droits de propriété intellectuelle est tout aussi cruciale pour les pays émergents, s'ils veulent tirer parti du transfert de technologie des multinationales et de l'ingéniosité de leurs propres inventeurs. L'explosion du nombre de demandes de brevets par la Chine pourrait

être de bon augure : à mesure que le pays concevra lui-même de précieuses innovations, il finira par reconnaître la valeur de la protection de la propriété intellectuelle. **FD**

JOHANNES EUGSTER, GIANG HO et **ROBERTO PIAZZA** sont économistes et **FLORENCE JAUMOTTE** est chef de division adjoint, tous du département des études du FMI.

Cet article s'inspire du chapitre 4 de l'édition d'avril 2018 des Perspectives de l'économie mondiale, intitulé « La croissance de la productivité est-elle partagée dans une économie mondialisée ? ».

Bibliographie :

- Adler, G., R. Duval, D. Furceri, S. Kilic Celik, K. Koloskova, and M. Poplawski-Ribeiro. 2017. "Gone with the Headwinds: Global Productivity." IMF Staff Discussion Note 17/04, International Monetary Fund, Washington, DC.
- Brynjolfsson, E., D. Rock, and C. Syverson. 2017. "Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics." In *Economics of Artificial Intelligence*. Chicago: University of Chicago Press.
- Chen, Sophia, and Estelle Dauchy. 2018. "International Technology Sourcing and Knowledge Spillovers: Evidence from OECD Countries." IMF Working Paper 18/51, International Monetary Fund, Washington, DC.
- Grossman G., and E. Helpman. 1991. *Innovation in the World Economy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Peri, G. 2005. "Determinants of Knowledge Flows and Their Effect on Innovation." *Review of Economics and Statistics* 87 (2): 308–22.

IN MEMORIAM : GIANG HO

M^{me} Giang Ho est décédée inopinément tandis que *F&D* était mis sous presse. Arrivée au FMI en 2011, M^{me} Ho, ressortissante vietnamienne, était une économiste talentueuse disposant d'un esprit analytique aigu n'ayant d'égal que son pragmatisme et sa discipline. Son intelligence et son sourire nous manqueront grandement. L'équipe de *F&D* présente ses plus sincères condoléances à sa famille et à ses amis.

Subventions : avantages et inconvénients

Certaines subventions gouvernementales sont efficaces, mais d'autres ont souvent des effets néfastes

Benedict J. Clements et Ian Parry

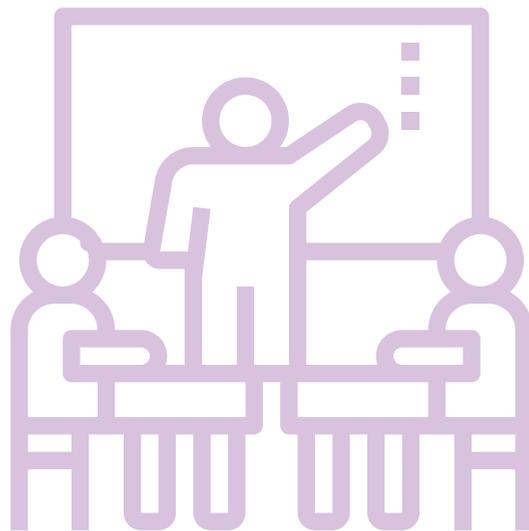
EN NORVÈGE, LES PROPRIÉTAIRES de véhicules électriques sont exonérés des péages autoroutiers. En Australie, l'État prend en charge une partie du salaire si l'entreprise embauche un jeune, un aborigène, ou une personne plus âgée. À Singapour, un allègement fiscal est offert aux entreprises qui installent leur siège régional ou mondial dans la cité-État. Tels sont des exemples de subventions : des outils budgétaires utilisés par les autorités pour stimuler le développement économique, venir en aide aux plus défavorisés, ou concourir à d'autres objectifs nationaux.

Les subventions revêtent de nombreuses formes. Dans certains cas, les autorités maintiennent des prix artificiellement élevés, comme avec les subventions destinées à doper le revenu des agriculteurs. Dans d'autres cas, elles offrent des services tels que des cursus universitaires ou des trajets de métro en dessous du prix coûtant. Elles peuvent aussi payer une partie des intérêts sur les emprunts contractés pour financer la construction d'une route ou d'une centrale électrique, ou encore accorder des dégrèvements fiscaux sur certains produits ou certaines technologies.

Dans quels cas les subventions sont-elles efficaces ? elles peuvent être un bon outil d'intervention si elles sont utilisées pour rectifier les prépondérances imperfections du marché ; autrement dit, si les marchés privés concurrentiels ne parviennent pas à assurer des résultats souhaitables pour la société. À titre d'exemple, les subventions peuvent inciter les entreprises à investir dans la recherche et le développement, qui non seulement leur sont bénéfiques, mais le sont aussi à l'ensemble du secteur ou de la société. Elles peuvent aussi aider de jeunes entreprises à surmonter une période initiale de pertes en attendant de se développer suffisamment pour devenir rentables (bien que les autorités aient besoin d'un minimum d'informations pour déterminer si les entreprises concernées réussiront une fois qu'elles se seront développées).

Impact sur les inégalités

Toutefois, les subventions présentent des inconvénients. Prenez les subventions énergétiques, qui visent souvent à venir en aide aux ménages à faible revenu. Elles peuvent grever les ressources de l'État si elles sont offertes à tous, même aux classes relativement aisées. Un système de transfert monétaire



ciblé sur les ménages pauvres est beaucoup moins onéreux. Les subventions peuvent aussi exacerber les inégalités si elles bénéficient de façon disproportionnée à ceux qui produisent ou consomment le plus. Sur l'ensemble des régions d'Afrique, d'Asie, d'Amérique latine et du Moyen-Orient, par exemple, les 20 % de ménages les plus riches bénéficient en moyenne *sept fois plus* des subventions énergétiques que les 20 % de ménages les plus pauvres (Coady, Flamini et Sears, 2015).

Autre inconvénient : les subventions qui ne corrigent pas les imperfections du marché peuvent fausser les prix et entraîner une mauvaise affectation du travail et du capital déjà limités, et ainsi nuire à la croissance. Soutenir les prix pétroliers, par exemple, peut maintenir artificiellement en vie les entreprises des secteurs à forte intensité d'énergie, mais freiner les investissements dans d'autres sources d'énergie. Les subventions à la production agricole, grâce auxquelles l'agriculteur perçoit un prix supérieur au prix des denrées alimentaires importées, ne l'incite guère non plus à améliorer son efficacité. Dans l'Union européenne, ces subventions ont représenté en moyenne 20 % des recettes agricoles brutes sur la période 2014–16, selon un rapport de 2017 de l'Organisation de coopération et de développement économiques.

Un certain nombre de subventions peuvent être néfastes, comme celles sur les combustibles fossiles. Non seulement elles coûtent cher, mais elles vont aussi à l'encontre des objectifs environnementaux,

notamment la diminution de la mortalité due à la pollution de l'air ambiant ou le respect des engagements pris au titre de l'Accord de Paris de 2015 sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre. Au sens large, l'énergie peut être considérée comme subventionnée dès que son prix ne reflète pas en totalité non seulement ses coûts de production, mais aussi l'ensemble de ses coûts environnementaux. Selon cet étalon de mesure plus large, il est estimé que les subventions ont atteint dans le monde en 2015 le chiffre astronomique de 5.300 milliards de dollars, soit 6,5 % du PIB mondial (Coady *et al.*, 2017), ce qui est supérieur au total des dépenses de santé de tous les pays du monde. Ces subventions sont très répandues à la fois dans les pays avancés et en développement : la Chine est le pays où elles ont été les plus nombreuses, en se chiffrant à 2.300 milliards de dollars, suivie des États-Unis à 700 milliards de dollars, puis de la Russie et l'Inde, à près de 300 milliards de dollars dans chaque cas.

Stratégies de réforme

Il peut s'avérer difficile de faire accepter une réforme des subventions, car elle implique une hausse des prix, notamment de l'essence ou des denrées alimentaires, qui touche instantanément le portefeuille du consommateur. Nombre de tentatives pour réduire des subventions néfastes ont dû être annulées sous la pression de groupes d'intérêts et de l'opinion publique.

Les autorités doivent donc recourir à une stratégie de réforme exhaustive et minutieuse qui énonce

Les subventions qui ne corrigent pas les imperfections du marché peuvent fausser les prix.

clairement les objectifs à long terme des futures évolutions de prix et des modes d'utilisation des ressources (Clements *et al.*, 2013). Elles doivent aussi mettre en place une vaste stratégie de communication pour démontrer à quel point les subventions évincent d'autres dépenses publiques plus efficaces et plus équitables. Une démarche progressive de réforme peut s'avérer judicieuse pour laisser aux consommateurs et aux entreprises le temps de s'adapter. Pour vaincre l'opposition, des mesures sont souvent déterminantes, notamment des transferts monétaires pour protéger les ménages vulnérables et des programmes de reconversion à l'intention des travailleurs déplacés.

La réforme des subventions n'est pas facile, mais nombre de pays (essentiellement producteurs d'énergie) ont toutefois réussi à relever les prix intérieurs ces dernières années, notamment l'Angola, l'Arabie saoudite, l'Égypte, l'Inde et le Mexique. Ces réformes doivent cependant aller beaucoup plus loin, en particulier pour intégrer les coûts environnementaux dans les prix des carburants. Telle doit être la pièce maîtresse de toute stratégie nationale pour honorer les engagements pris en 2015 au titre de l'Accord de Paris sur le changement climatique dans le but de réduire les émissions de carbone. **FD**

BENEDICT J. CLEMENTS est chef de division au département Afrique du FMI, et **IAN PARRY** est expert principal en politique environnementale au département des finances publiques du FMI.

Bibliographie :

Clements, Benedict J., David Coady, Stefania Fabrizio, Sanjeev Gupta, Trevor Alleyne, and Carlo A. Sdravovich. 2013. *Energy Subsidy Reform: Lessons and Implications*, Washington: International Monetary Fund.

Coady, David, Valentina Flamini, and Louis Sears. 2015. "The Unequal Benefits of Fuel Subsidies Revisited: Evidence for Developing Countries." In *Inequality and Fiscal Policy*, edited by Benedict Clements, Ruud de Mooij, Sanjeev Gupta, and Michael Keen. Washington, DC: International Monetary Fund.

Coady, David, Ian Parry, Louis Sears, and Baoping Shang. 2017. "How Large Are Global Fossil Fuel Subsidies?" *World Development* 91:11–27.

