



Rue de la Banque

N° 43 ■ Mai 2017

Croissance de la productivité au XX^e siècle : quel rôle joué par l'éducation, l'âge des équipements et la technologie ?

Antonin BERGEAUD
Banque de France

Gilbert CETTE
Banque de France
et Université Aix-Marseille
(Aix-Marseille School of Economics),
CNRS et EHESS

Rémy LECAT
Banque de France

Le XX^e siècle a été une période de croissance exceptionnelle, sous l'effet essentiellement de la hausse de la productivité globale des facteurs (PGF). Dans ce Rue de la Banque, l'étude de 17 pays de l'OCDE au cours de la période comprise entre 1890 et 2013¹ montre que la « grande vague » de croissance de la productivité observée au milieu du XX^e siècle, ainsi que la vague de productivité des technologies de l'information et de la communication (TIC), ne restent que partiellement expliquées lorsqu'on prend en compte, outre le stock de capital productif et le nombre d'heures travaillées, la qualité des facteurs de production, au travers de l'éducation ou l'âge des équipements, et la diffusion des technologies. Ces résultats plaident en faveur d'une vision plus large des facteurs de croissance, prenant en compte les modifications du processus de production, des techniques de gestion, des pratiques de financement, de la démographie des entreprises et de l'allocation des facteurs.

Les idées exposées dans ce document reflètent l'opinion personnelle de leurs auteurs et n'expriment pas nécessairement la position de la Banque de France.

La croissance au XX^e siècle a été caractérisée par trois faits stylisés, que la littérature sur le sujet a tenté d'expliquer au cours des dernières décennies. Premièrement, la période qui a débuté avec la deuxième révolution industrielle a été une période de croissance exceptionnelle dans l'histoire de l'humanité ou même par rapport à la première révolution industrielle. Dans la mesure où les données du passé lointain sont fiables, la croissance mondiale du PIB par habitant a atteint 1,5 % par an en moyenne entre 1870 et 2000, contre moins de 0,1 % durant l'ère pré-industrielle (1000-1760) et 0,3 % au cours de la première révolution industrielle (1760-1870) (Maddison, 2001). Deuxièmement, cet essor a été inégal d'un pays à l'autre, aboutissant à une « grande divergence » (Galor, 2005) entre les économies émergentes et les économies avancées, et est intervenu avec des décalages temporels importants entre les différents pays avancés.

Enfin, le PIB par habitant s'est notablement ralenti dans les économies avancées depuis les années soixante-dix, amenant à remettre en question le caractère durable du rythme de croissance au XX^e siècle (Gordon, 2012). Le PIB par habitant dans les pays émergents s'est accéléré depuis les années soixante-dix, mais si le progrès technologique mondial marque le pas, il finira par se ralentir au fur et à mesure que le processus de rattrapage de ces pays s'achèvera. Ces faits stylisés appellent trois questions : pourquoi l'essor économique a-t-il eu lieu à ce stade de l'histoire de l'humanité ? Pourquoi une telle hétérogénéité ? Cet essor durera-t-il ? Ces questions ont déjà été largement traitées dans la littérature sur la croissance, qui se concentre à la fois sur les facteurs de croissance et sur le processus de convergence.

¹ La base de données utilisée dans le présent Rue de la Banque est disponible à l'adresse suivante : www.longtermproductivity.com

Pour apporter des éléments de réponses à ces questions, il est essentiel de quantifier la contribution des facteurs de croissance traditionnels (capital, travail) en prenant en compte leur qualité mais également, au-delà de cet exercice de comptabilité de la croissance, d'explorer plus en profondeur le rôle dans la croissance à long terme des technologies généralistes (*general purpose technologies* – GPT), c'est-à-dire des technologies dont le champ d'application s'étend à de nombreux secteurs, qui connaissent une amélioration rapide et engendrent de nouvelles innovations. La comptabilité de la croissance (Solow, 1957) a constitué une première tentative d'analyse des rôles respectifs des facteurs de production, qui n'a pas permis cependant d'expliquer l'essentiel de la croissance du XX^e siècle, attribué à la productivité globale des facteurs (PGF), résidu de cette décomposition. L'amélioration de la PGF est attribuée au progrès technique, qui relève encore largement de la notion de « boîte noire » ou de « manne qui tombe du ciel », pour reprendre l'expression de Hulten (2000). Cela résulte en partie de la difficulté d'appréhender le rôle des technologies généralistes, en raison de leurs nombreux champs d'application et de leur dynamisme technologique, ce qui rend difficile l'identification et la mesure de leur impact (Bresnahan et Trajtenberg, 1995). En effet, la contribution des technologies généralistes va au-delà des facteurs retenus dans l'approche comptable de la croissance, comme l'intensité capitalistique des équipements liés à ces technologies et l'amélioration de la PGF dans les secteurs producteurs de ces technologies. Premièrement, les technologies généralistes entraînent des changements fondamentaux dans le processus de production des secteurs qui les utilisent. Ces changements peuvent ne pas être correctement pris en compte dans les exercices de comptabilité de la croissance, par exemple s'ils supposent une accumulation de capital organisationnel complémentaire (Basu et Fernald, 2007). Deuxièmement, les technologies généralistes peuvent avoir des répercussions sur des secteurs à première vue éloignés (Helpman et Trajtenberg, 1996). Troisièmement, les technologies généralistes peuvent présenter un retard significatif de diffusion (cf. par exemple, David, 1990).

Nous avons estimé le rôle des facteurs de production ajustés par la qualité et de la diffusion des technologie dans la croissance du PIB par habitant de 17 pays de l'OCDE, au cours de la période 1890-2013. Premièrement, nous avons construit une base de données sur longue période recouvrant un grand nombre de pays, à l'aide de données reconstituées en parité de pouvoir d'achat et, autant que possible, à partir d'hypothèses

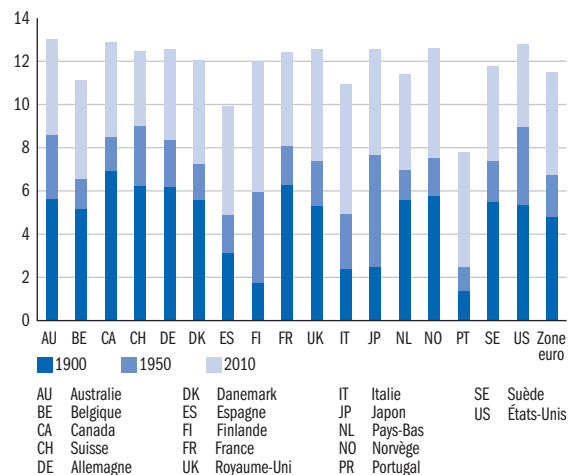
cohérentes. Deuxièmement, nous avons ajusté par leur qualité les facteurs de production, en prenant en compte les niveaux d'éducation (cf. graphique 1) et l'âge du stock de capital (cf. graphique 2). Troisièmement, notre contribution principale consiste à évaluer l'impact de la diffusion des technologies sur la croissance de la PGF au travers de deux technologies généralistes, l'électricité et les technologies de l'information et de la communication (TIC), souvent considérées comme emblématiques des différentes périodes de diffusion des technologies observées au XX^e siècle ².

Une forte augmentation des niveaux d'éducation au XX^e siècle

Le graphique 1 montre que, en 1900, le niveau d'éducation moyen était globalement identique dans la zone euro et aux États-Unis alors que, en 1950, il était plus élevé de 2,2 ans en moyenne aux États-Unis. Cette évolution s'explique par la forte augmentation de la scolarisation dans le secondaire aux États-Unis

G1 Niveau d'éducation en 1900, 1950 et 2010
Durée moyenne de la scolarité de la population âgée de plus de 15 ans (en nombre d'années)

(en nombre d'années)



Source : van Leeuwen et van Leeuwen-Li (2014).

2 La contribution de ces technologies est évaluée à l'aide de la méthode des doubles moindres carrés (2SLS), qui permet de remédier aux problèmes d'endogénéité, avec comme variable instrumentale la diffusion retardée, pondérée de la distance, des technologies par les partenaires commerciaux. Cette méthode d'identification repose sur le fait que le commerce est étroitement corrélé à la distance et constitue un important vecteur de diffusion des technologies.

de 1910 à 1940 (*High School Movement*), notamment grâce à la construction de nouveaux établissements publics. Ainsi, les inscriptions en études secondaires ont doublé entre 1920 et 1930, alors qu'en Europe, à partir d'un niveau moins élevé, elles ont connu une hausse très faible. En revanche, d'après les données de Mitchell (1998a, 1998b), le taux d'inscription en études supérieures n'était pas très différent entre les deux régions. À la fin de la période, les États-Unis disposaient encore d'une avance significative par rapport à la zone euro. Cet écart est attribuable, pour l'essentiel, aux différences des taux d'inscription dans l'enseignement supérieur qui sont apparues dans les années cinquante ainsi qu'aux investissements massifs dans la recherche durant la période de « course aux étoiles ».

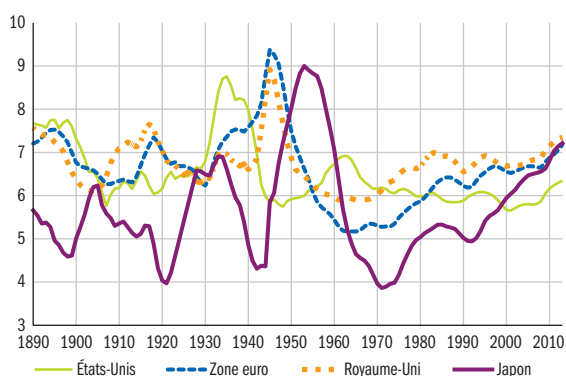
L'âge moyen du capital, un indicateur de la qualité du capital

Nous avons calculé l'âge moyen des équipements pour le stock de capital, qui est un indicateur de la qualité de ce facteur et devrait donc être intégré à la fonction de production, bien que cette relation ne soit pas stable sur la durée. Cela traduit simplement l'idée intuitive d'un effet millésime : comme l'indique Solow (1962), le capital plus ancien devrait être moins productif que le capital plus récent.

Les résultats de ces calculs relatifs aux équipements pour le stock de capital sont présentés dans le graphique 2 pour les États-Unis, le Japon, le Royaume-Uni et la zone euro. L'âge moyen varie de quatre à huit ans, selon la période. Il a fortement augmenté durant la Grande dépression aux États-Unis, qui a lourdement

G2 Âge moyen des équipements

(en nombre d'années)



Note : On prend comme hypothèse un taux d'amortissement égal à 10 %.
Source : Calculs des auteurs.

pesé sur l'investissement ; il a diminué de manière significative durant la seconde guerre mondiale en raison de l'effort de guerre, et de façon plus modérée durant la période 1995-2005, pendant la vague liée aux TIC, c'est-à-dire la période durant laquelle les TIC ont le plus contribué à la croissance de la productivité aux États-Unis, sous l'effet des investissements nécessaires à l'incorporation des nouvelles technologies. Dans la zone euro et au Royaume-Uni, l'âge moyen a fortement augmenté durant la seconde guerre mondiale, le conflit pesant fortement sur l'investissement, et il a diminué durant la période de reconstruction de l'après-guerre. Il suit une tendance haussière depuis 1990 au Japon, en raison de la crise bancaire, et depuis la crise financière dans les autres régions, les contraintes de crédit et la morosité des perspectives de demande pesant sur l'investissement. On observe une atténuation des fluctuations contracycliques.

Une forte contribution de l'éducation à la croissance, décalée dans le temps entre les différents pays

Parmi les considérations relatives à la qualité des facteurs, le niveau d'éducation affiche la plus forte contribution à la croissance, tandis que l'âge du capital a apporté une contribution significative, quoique limitée. Les évolutions du capital humain et de l'âge du capital contribuent de manière significative à la croissance de la PGF. Sur l'ensemble de la période 1890-2010, le capital humain et l'âge du capital physique représentaient au total 21 % de la hausse de la PGF aux États-Unis, 17 % dans la zone euro, 25 % au Royaume-Uni et 26 % au Japon. Toutefois, même si l'éducation (principalement) et l'âge du capital ont un fort impact sur le niveau et la croissance de la productivité, ils n'expliquent pas les vagues de productivité observées au cours du XX^e siècle. Il est intéressant de noter que la « grande vague » (Gordon, 1999), c'est-à-dire la période comprise entre les années quarante et les années soixante, lorsque les États-Unis ont enregistré une très forte hausse de la productivité, est aussi celle que la non-prise en compte de l'éducation et de l'âge du capital affecte le plus : s'agissant des États-Unis, le pic en est réduit de 25 % (cf. graphique 3). À l'inverse, l'éducation et l'âge du capital ne contribuent guère à expliquer la vague liée aux TIC aux États-Unis, l'éducation ayant atteint un plateau et l'âge du capital n'ayant que légèrement diminué dans les années quatre-vingt-dix et augmenté au moment de la crise financière. Dans les autres régions, la contribution de l'éducation est moins importante que par le passé, en dépit d'une

forte contribution dans la zone euro et au Japon, où l'ouverture aux masses des études supérieures a été retardée par rapport aux États-Unis. Les équipements ont vieilli depuis 1990 au Japon, en raison de la crise bancaire, et depuis les années deux mille dans la zone euro. Ainsi, la massification précoce de l'éducation aux États-Unis a apporté une contribution durable à la productivité et explique en partie l'avance des États-Unis. En effet, dans les autres régions (zone euro, Royaume-Uni), l'augmentation de la contribution de l'éducation intervient à la période suivante, dans les années cinquante. Au Japon, l'éducation a apporté une forte contribution tout au long du siècle en raison de son très bas niveau initial. L'âge du capital apporte une contribution significative principalement durant la période de reconstruction après la seconde guerre mondiale dans la zone euro et au Japon, mais sinon sa contribution est essentiellement procyclique et donc limitée, en moyenne, sur le long terme. En résumé, les facteurs de production ajustés par la qualité expliquent moins de la moitié de la croissance de la productivité du travail dans les principaux pays, à l'exception du Japon, où l'intensité capitaliste a apporté une très forte contribution.

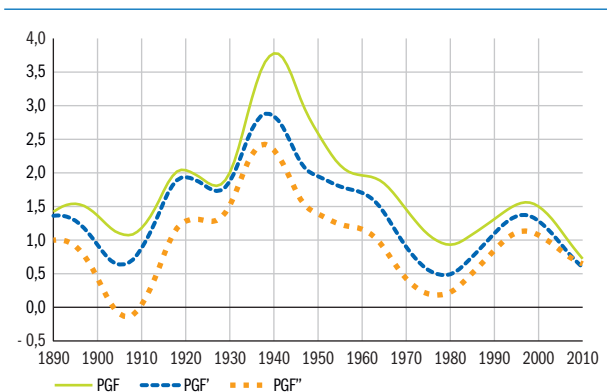
La diffusion des technologies laisse inexpliquée une part significative des vagues de productivité

Afin de mesurer la diffusion des technologies sur l'ensemble de la période, nous nous sommes appuyés sur la base de données CHAT construite par Comin et Hobijn (2009) et, plus récemment, sur les travaux de Cette *et al.* (2015), qui fournissent des estimations du stock de capital des TIC, de 1950 à 2012, pour 14 des 17 pays étudiés. Sur le long terme, d'après nos estimations, une hausse de 1 % de la production d'électricité par habitant génère une augmentation de la productivité de presque 0,1 %, tandis qu'une hausse équivalente à un écart-type (0,049) de la valeur du ratio des TIC rapportés au PIB entraîne une augmentation de 7,4 % de la productivité.

Le graphique 3 retrace, pour les trois vagues observées de 1905 à 2010 aux États-Unis, l'évolution du taux de croissance de la PGF, résidu comprenant l'éducation, l'âge du capital, l'électricité et les TIC, PGF' (qui ne prend pas en compte l'impact de l'éducation et de l'âge du capital) et PGF'' (qui exclut également l'impact de l'électricité et des TIC). Nous constatons que le profil général des évolutions n'est pas affecté, notamment en ce qui concerne la grande vague. L'ampleur de

G3 Taux de croissance filtré des différentes mesures de la PGF aux États-Unis, 1905-2010

(en %)



Note : PGF est le résidu qui inclut l'éducation, l'âge du capital, l'électricité et les TIC. PGF' exclut l'impact de l'éducation et de l'âge du capital et PGF'' exclut également l'impact de l'électricité et des TIC. Les séries ont été calculées à l'aide d'un filtre HP à coefficient 500 ($\lambda = 500$) pour la période 1890-2010, afin de remédier au problème des valeurs initiales. Source : Calculs des auteurs.

cette grande vague s'est cependant atténuée, diminuant de presque 40 % pour PGF'' par rapport à PGF'. Le graphique permet également d'expliquer en grande partie la vague liée aux TIC. En effet, la vague correspondante de productivité s'explique pour 35 % environ par l'éducation, par l'âge du capital et par la prise en compte dans nos estimations de la diffusion des TIC.

En résumé, les facteurs de production ajustés par la qualité ne permettent pas d'expliquer en totalité la « grande vague » de croissance de la productivité, ni la vague de productivité des TIC pour les pays concernés, même si l'accès précoce des masses à un niveau d'éducation plus élevé explique dans une certaine mesure l'avance des États-Unis par rapport aux autres pays avant la seconde guerre mondiale. Cela étant, notre principale contribution réside dans l'estimation de l'impact des technologies généralistes sur la croissance à long terme. La diffusion des technologies, telle qu'estimée par nos deux technologies généralistes, contribue également à expliquer l'avance des États-Unis dans les années trente et quarante ainsi que les vagues de productivité liées aux TIC, mais laisse inexpliquée entre 0,6 et 1 point de croissance annuelle, ainsi qu'une large part des deux vagues technologiques du XX^e siècle (cf. graphique 3). Ces résultats confortent un retard significatif de diffusion des technologies généralistes, et la nécessité d'adopter une vision plus large des facteurs de croissance, prenant en compte les modifications du processus de production, des techniques de financement, des pratiques de gestion, de la démographie des entreprises, de l'allocation des facteurs, etc.

Bibliographie

Basu (S.) et Fernald (J.) (2007)

« *Information and communications technology as a general-purpose technology: evidence from U.S. industry data* », *German Economic Review*, volume 8, pages 146-173, mai.

Bergeaud (A.), Cette (G.) et Lecat (R.) (à paraître)

« *The role of production factor quality and technology diffusion in 20th century productivity growth* », *Cliometrica*.

Bresnahan (T.) et Trajtenberg (M.) (1995)

« *General purpose technologies 'Engines of growth'?* », *Journal of Econometrics*, Elsevier, volume 65, n° 1, pages 83-108, janvier.

Cette (G.), Clerc (C.) et Bresson (L.) (2015)

« *Contribution of ICT diffusion to labour productivity growth: the United States, Canada, the Eurozone, and the United Kingdom, 1970-2013* », *International productivity monitor*, n° 28, printemps.

Comin (D.) et Hobijn (B.) (2009)

« *The CHAT Dataset* », *Harvard Business School Working Papers*, n° 10-035, Harvard Business School.

David (P. A.) (1990)

« *The dynamo and the computer: an historical perspective on the modern productivity paradox* », *American Economic Review*, volume 80, n° 2, *Papers and Proceedings of the Hundred and Second Annual Meeting of the American Economic Association*, pages 355-361, mai.

Galor (O.) (2005)

« *From stagnation to growth: unified growth theory* », *handbook of economic growth*, dans : Philippe Aghion & Steven Durlauf (ed.), *Handbook of Economic Growth*, Elsevier, 1^{ère} édition, volume 1, chapitre 4, pages 171-293.

Gordon (R.) (1999)

« *US economic growth since 1970: one big wave?* », *American Economic Review*, volume 89, n° 2, pages 123-128.

Gordon (R.) (2012)

« *Is US economic growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds* », National Bureau of Economic Research, *NBER Working Paper*, n° 18315, août.

Helpman (E.) et Trajtenberg (M.) (1996)

« *Diffusion of general purpose technologies* », National Bureau of Economic Research, *NBER Working Paper*, n° 5773, septembre.

Hulten (C. R.) (2000)

« *Total factor productivity: a short biography* », National Bureau of Economic Research, *NBER Working Paper*, n° 7471, janvier.

Maddison (A.) (2001)

« *The world economy: a millennium perspective* », Centre de développement de l'Organisation de coopération et de développement économiques.

Mitchell (B.) (1998a)

« *The Americas, 1750-1993* », International Historical Statistics, 4^e édition, Stockton Press.

Mitchell (B.) (1998b)

« *Europe, 1750-1993* », *International Historical Statistics*, 4^e édition, Stockton Press.

Solow (R.) (1957)

« *Technical change and aggregate production function* », *The Review of Economics and Statistics*, volume 39, n° 3, pages 312-320, août.

Solow (R.) (1962)

« *Technical progress, capital formation, and economic growth* », *The American Economic Review*, *Papers and Proceedings* 52, n° 2, pages 76-86, mai.

van Leeuwen (B.) et van Leeuwen-Li (J.) (2014)

« *Education since 1820* », dans : J.L. van Zanden et al. (éds.), *How was life?: global well-being since 1820*, OECD Publishing, pages 88-101.

Éditeur

Banque de France

Réalisation

Direction de la Communication

Directeur de la publication

Marc-Olivier STRAUSS-KAHN

Mai 2017

www.banque-france.fr

Directeur de la rédaction

Françoise DRUMETZ

