



Un robot tient en main un journal au Forum économique mondial 2016 à Davos.

Robots, croissance et inégalités

Andrew Berg, Edward F. Buffie et Luis-Felipe Zanna

La révolution robotique pourrait avoir une incidence profondément défavorable sur l'égalité

CERTAINS disent que le monde est entré dans un «deuxième âge des machines». Chaque semaine, nous apprenons l'avènement d'une nouvelle application de l'intelligence artificielle, de «l'apprentissage profond» et de la robotique. Les camions de livraison automatisés, l'enseignement en ligne et les agendas électroniques, les ordinateurs qui se substituent aux assistants juridiques et les voitures sans chauffeur n'en sont que quelques exemples. Certains semblent se rapprocher du «robot» imaginé par l'auteur de science-fiction tchèque Karel Čapek, qui a inventé ce terme en 1921 pour décrire une machine intelligente essentiellement impossible à distinguer d'un humain.

Nul ne sait où va cette technologie. Robert Gordon affirme que le progrès technique

économiquement significatif — et la hausse de la productivité aux États-Unis — a ralenti depuis les années 70, mis à part une décennie d'essor technologique qui s'est achevée en 2004 (voir le numéro de juin 2016 de *F&D*). Mais pour ce qui est des robots intelligents, nous sommes peut-être à l'aube d'une révolution et les économistes doivent réfléchir sérieusement à ce que cela implique pour la croissance et la répartition des revenus.

Discours divergents

Deux thèses s'affrontent dans les écrits des économistes sur la technologie, la croissance et la répartition. Selon la première, le progrès technologique accroît la productivité et donc la production par habitant. Nonobstant quelques coûts passagers du fait que certains métiers deviennent

obsolètes, l'effet général est une hausse du niveau de vie. Les optimistes technologiques semblent sortir victorieux de ce débat qui remonte au moins au XIX^e siècle. En 2015, le travailleur américain moyen devait travailler en moyenne 17 semaines pour atteindre le niveau de revenu annuel du travailleur moyen de 1915, grâce pour beaucoup au progrès technologique (Autor, 2014).

Les optimistes soulignent qu'à maints égards, la technologie fait bien plus que déplacer des travailleurs. Elle les rend plus productifs et augmente la demande de leurs services : par exemple, les logiciels de cartographie simplifient la tâche des chauffeurs de taxi (et maintenant de ceux de Lyft ou Uber). Et la hausse des revenus crée une demande pour toutes sortes de produits et crée donc du travail. L'informatisation du travail a suscité une vague de peur aux États-Unis dans les années 50 et au début des années 60, mais au cours des décennies suivantes, la hausse robuste de la productivité et du niveau de vie est allée de pair avec des taux de chômage à peu près stables et une progression de l'emploi.

L'autre thèse, plus pessimiste, prête plus d'attention aux perdants (voir par exemple Sachs et Kotlikoff, 2012; Ford, 2015; Freeman, 2015). Si les inégalités se sont accentuées dans beaucoup de pays avancés au cours des dernières décennies, c'est peut-être en partie sous l'effet de la pression technologique. Dans les pays développés, la révolution informatique a réduit la demande relative d'emplois exigeant un travail routinier (physique ou mental) — comptabilité ou travail à la chaîne par exemple. Comme les ordinateurs, liés à un plus petit nombre de travailleurs — en général plus qualifiés —, ont permis de produire les biens précédemment liés à ces emplois, les salaires relatifs des travailleurs moins qualifiés ont baissé dans beaucoup de pays.

En ira-t-il autrement avec les robots?

Où les robots intelligents peuvent-ils trouver leur place? Pour apporter à cette question une réponse générale, nous avons imaginé un modèle économique qui suppose que les robots sont une sorte de capital différente, qui s'apparente de près aux travailleurs humains. Les macroéconomistes définissent généralement la production comme résultant de la combinaison du stock de capital physique (machines et structures, tant publiques que privées) et du travail. Mais l'idée que les robots sont un nouveau type de capital physique, qui s'ajoute en fait à la main-d'œuvre (humaine) disponible, donne des résultats surprenants. La production nécessitera encore des bâtiments et des routes, par exemple, mais désormais, les travailleurs humains et les robots peuvent exploiter ce capital traditionnel.

Que se passe-t-il lorsque ce capital robotique devient suffisamment productif pour être utile? En supposant que les robots sont un substitut presque parfait du travail humain, la bonne nouvelle est que la production unitaire augmente. La mauvaise nouvelle tient au creusement des inégalités, pour diverses raisons. Premièrement, les robots viennent grossir l'offre effective de main-d'œuvre totale (travailleurs plus robots), ce qui fait baisser les salaires dans une économie de marché. Deuxièmement, parce qu'il est maintenant rentable d'investir dans les robots, les investissements se détournent du capital traditionnel (bâtiments et machines). Cela abaisse encore la demande de ceux qui travaillent avec ce capital traditionnel.

Mais ce n'est que le début. Les facteurs tant positifs que négatifs s'intensifient au fil du temps. À mesure que le stock de robots s'accroît, le rendement du capital traditionnel augmente aussi (les

entrepôts sont plus utiles lorsque ce sont des robots qui garnissent les étagères). Peu à peu, les investissements traditionnels repartent aussi à la hausse. Cela maintient la productivité des robots, dont le stock continue à augmenter. À terme, les deux sortes de capital grossissent en parallèle, jusqu'à dominer progressivement l'ensemble de l'économie. Tout ce capital traditionnel et robotique, où la part de la main-d'œuvre humaine diminue, produit de plus en plus. Et les robots ne sont pas censés consommer, mais seulement produire (encore que la littérature de science-fiction laisse des doutes à ce sujet!) On a donc une production de plus en plus abondante, à partager entre des personnes de chair et d'os.

Pendant ce temps, les salaires diminuent, non seulement en termes réels, mais aussi absolus, alors que la production augmente.

Cela peut paraître étrange, voire paradoxal. Certains économistes parlent de la méprise des alarmistes anti-technologiques qui ne se rendent pas compte que les marchés vont s'équilibrer : la demande va augmenter en réponse à la hausse de l'offre de produits issus d'une technologie plus performante et les travailleurs trouveront de nouveaux emplois. Il n'y a pas de méprise en l'occurrence : notre modèle économique simple ne suppose ni chômage ni autres complications : les salaires s'ajustent pour équilibrer l'offre et la demande de main-d'œuvre.

Comment expliquer que les salaires baissent alors que la production augmente? Ou, pour le présenter d'une autre manière, qui achète le surcroît de production? Les détenteurs du capital. À court terme, l'accroissement des investissements compense largement toute diminution passagère de la consommation. Sur le long terme, la part du gâteau des détenteurs du capital s'accroît — de même que leurs dépenses de consommation. Du fait de la baisse des salaires et de la hausse du stock de capital, la main-d'œuvre (humaine) se réduit à une part de plus en plus faible de l'économie. (Si, cas extrême, la substituabilité est parfaite, la part des salaires devient nulle.) Thomas Piketty nous a rappelé que la part du capital est un élément déterminant de la distribution des revenus. Le capital est déjà plus inégalement réparti que les revenus dans tous les pays. L'introduction de robots ferait croître indéfiniment la part du capital, si bien que les revenus tendraient à être de plus en plus inégalement répartis.

«Singularité» économique du robot?

Curieusement, ce processus de croissance autoentretenu tirée uniquement par l'investissement (robots plus main-d'œuvre traditionnelle) peut s'amorcer même en cas de très faible gain d'efficacité des robots, dès lors qu'ils les rendent concurrentiels avec les travailleurs humains. Ce minuscule gain d'efficacité cause donc une espèce de «singularité» économique, le capital s'emparant de l'ensemble de l'économie, à l'exclusion de la main-d'œuvre. Cela évoque l'hypothèse de la «singularité technologique» rendue célèbre par Raymond Kurzweil (2005), selon laquelle les machines intelligentes deviennent si astucieuses qu'elles arrivent à s'auto-programmer, ce qui déclenche un nouvel accroissement explosif de l'intelligence artificielle. Mais revenons à notre singularité économique et non pas technologique. Nous étudions comment une faible augmentation de l'efficacité des robots pourrait entraîner une accumulation de capital autoentretenu qui permettrait aux robots de prendre le contrôle de l'économie, et non pas une croissance autoentretenu de l'intelligence artificielle.



Le robot humanoïde Pepper se prend en photo durant un concours d'applications mobiles à Tokyo.

Nous avons supposé jusqu'à présent une parfaite substituabilité robot/travailleurs et une faible hausse de l'efficacité des robots. Comme dans le film hollywoodien *Terminator 2 : Jugement dernier*, où les robots sont si parfaitement substituables aux humains qu'il est impossible de les en distinguer. Un autre scénario plausible pourrait écarter ces hypothèses. Il est plus réaliste, au moins pour l'heure, de supposer que le robot est un substitut proche, *mais non parfait*, du travailleur, ce dernier possédant une étincelle de créativité ou une touche humaine critique. Dans le même temps, comme certains technologues, nous prévoyons qu'au cours des vingt prochaines années, les avancées de la productivité des robots ne seront pas minimes mais énormes.

Cela étant, nous retrouvons un peu de l'optimisme caractéristique de l'économiste. Les forces susmentionnées sont encore à l'œuvre : le capital de robots tend à remplacer les travailleurs et à faire baisser les salaires, et dans un premier temps, le report des investissements sur les robots assèche le capital traditionnel qui aide à faire progresser les salaires. Mais la différence est que les talents spéciaux des humains deviennent de plus en plus précieux et productifs, en se greffant sur le capital traditionnel et robotique qui ne cesse de grossir. Au bout du compte, cette hausse de la productivité de la main-d'œuvre fait plus que compenser le fait que les robots remplacent les humains, et les salaires (ainsi que la production) augmentent.

Mais il y a deux problèmes. Premièrement, le «bout du compte» peut tarder à arriver. Le laps de temps dépend de l'aisance avec laquelle on peut remplacer les travailleurs humains par les robots et de la vitesse à laquelle l'épargne et l'investissement réagissent aux taux de rendement. D'après l'étalonnage de référence, il faut 20 ans pour que l'effet de productivité l'emporte sur l'effet de substitution et fasse augmenter les salaires. Deuxièmement, il y a de fortes chances pour que le rôle économique du capital continue à croître. Il n'investit pas l'ensemble du champ économique, comme dans le cas de la singularité, mais il s'arroge une part plus importante des revenus, même à long terme, lorsque les salaires sont supérieurs à leur niveau de l'ère précédant l'avènement des robots. Les inégalités vont donc empirer de façon peut-être considérable.

Les gens sont différents

Nos lecteurs pensent peut-être que ces scénarios effarants ne les concernent pas, car un robot ne peut pas faire leur métier, d'économiste ou de journaliste, par exemple. Pour notre modèle, nous avons commencé par considérer que les robots peuvent parfaitement se substituer à la main-d'œuvre humaine, puis nous avons avancé l'idée qu'ils sont un substitut proche, mais pas parfait. Autre hic important : tous les travailleurs ne se valent pas. Et en fait, il est plausible que même les machines les plus perfectionnées, dotées d'une intelligence artificielle avancée, ne remplaceront pas les humains pour toutes les tâches. Au cinéma, la gamme des emplois qu'elles peuvent pourvoir est très large, de chasseur de robots (*Blade Runner*) à docteur (*Alien*). Et les robots ont à tout le moins tenté de remplacer des assistants pédagogiques et même les journalistes. Les cours en ligne ouverts à tous peuvent même menacer de prendre la place des professeurs. Mais en réalité, beaucoup d'emplois semblent être hors de danger, au moins pour le moment.

Dans notre modèle, nous divisons donc les travailleurs en deux catégories, «qualifiés» et «non qualifiés». Qualifiés signifie qu'ils ne sont pas de bons substituts pour les robots, mais plutôt que les robots peuvent accroître leur productivité. Non qualifiés signifie qu'ils sont de proches substituts. Nos travailleurs qualifiés peuvent donc ne pas avoir le haut niveau d'instruction traditionnel; ils peuvent être ceux qui font preuve de créativité ou d'empathie, ce qui est particulièrement difficile pour les futurs robots. Nous supposons, en nous fondant sur les travaux de Frey et Osborne (2013), qu'environ la moitié de la main-d'œuvre peut être remplacée par des robots et qu'elle est donc «non qualifiée». Que se passe-t-il lorsque la technologie des robots devient moins chère? Comme auparavant, la production unitaire augmente. Et la part du capital global (robots plus main-d'œuvre traditionnelle) grossit. Mais, en plus, les salaires des travailleurs qualifiés augmentent par rapport à ceux des non qualifiés et aussi en termes absolus. Pourquoi? Parce que ces travailleurs sont plus productifs lorsqu'ils font équipe avec des robots. Imaginons par exemple le surcroît de productivité d'un créateur qui dispose d'une armée

de robots. Par ailleurs, les salaires des travailleurs non qualifiés chutent, en valeur relative et absolue, même sur le long terme.

Les inégalités augmentent maintenant pour deux raisons fondamentales. Le capital continue de recevoir une part plus importante du revenu global. De plus, les inégalités de salaires se creusent considérablement. La productivité et les salaires réels des travailleurs qualifiés ne cessent d'augmenter, tandis que les travailleurs peu qualifiés bataillent seuls contre les robots et essuient une lourde défaite. Les chiffres dépendent de quelques paramètres clés, tels que le degré de complémentarité entre les travailleurs qualifiés et les robots, mais l'ordre de grandeur approximatif résulte des hypothèses que nous avons exposées. Nous constatons que sur une période de 50 années néfastes, les salaires réels de la main-d'œuvre non qualifiée diminuent de 40 % et que la part du revenu national qui lui échoit chute de 35 à 11 %, d'après notre étalonnage de référence.

Nous avons raisonné jusqu'ici sur la base d'un grand pays développé, tel que les États-Unis, ce qui paraît naturel, car ces pays sont en général plus avancés technologiquement. Mais l'ère de la robotique pourrait aussi affecter la répartition internationale de la production. Par exemple, si la main-d'œuvre non qualifiée remplacée par des robots ressemble à celle des pays en développement, elle pourrait faire baisser les salaires relatifs de ces pays.

À qui appartiendront les robots?

Ces scénarios ne sont pas une fatalité. En premier lieu, nous spéculons principalement sur les effets des nouvelles tendances technologiques et n'analysons pas de données existantes. Les récentes innovations auxquelles nous pensons n'ont pas (encore) eu d'effet statistique visible sur la productivité ou la croissance des pays développés; la croissance de la productivité a en fait été faible ces dernières années. Par ailleurs, la technologie ne semble pas être la cause de l'aggravation des inégalités dans de nombreux pays. Dans la plupart des pays avancés, la progression des salaires relatifs de la main-d'œuvre qualifiée a été plus faible qu'aux États-Unis, même là où l'évolution technologique est comparable. Comme l'ont bien souligné Piketty et ses coauteurs, le creusement des inégalités au cours des dernières décennies frappe pour une large part une très petite fraction de la population, et la technologie ne semble pas être l'explication principale. Mais l'aggravation croissante des inégalités observée ces dernières décennies dans tant de parties du monde — et peut-être même certains exemples d'instabilité politique et de populisme qui font la une des journaux — souligne les risques et accentue les enjeux. Il est inquiétant de constater que la part du revenu national qui revient au travail aux États-Unis semble être en baisse depuis le début du siècle, après plusieurs décennies de relative stabilité (Freeman, 2015).

Les célèbres trois «lois de la robotique» énoncées par l'écrivain de science-fiction Isaac Asimov visaient à protéger les humains de tout dommage physique de la part des robots. Selon la première, «un robot ne peut pas faire de mal à un humain ni, par inaction, laisser un humain exposé au danger». Cette règle peut suffire pour les créateurs de robots individuels, mais n'aiderait guère à faire face aux conséquences économiques à l'échelle nationale dont il est question ici. Notre petit modèle montre que, même dans une économie de marché qui fonctionne bien, les robots peuvent être une source de bénéfices pour les détenteurs de capital et peuvent accroître le revenu par habitant moyen, mais il en résulterait un type de société

dans laquelle la plupart d'entre nous ne souhaiteraient pas vivre. Il y a de fortes raisons pour que la puissance publique réagisse.

Dans tous ces scénarios, il y a des emplois pour ceux qui veulent travailler. Le problème tient à ce que le gros des revenus est perçu par les détenteurs de capital et par les travailleurs qualifiés qu'il n'est pas facile de remplacer par des robots. Le reste reçoit un bas salaire et une part de plus en plus maigre du gâteau. D'où l'importance d'une éducation qui encourage la créativité et l'acquisition de compétences complétant les machines intelligentes et non pas supplantées par elles. Ce type d'investissement dans le capital humain pourrait accroître les salaires moyens et réduire les inégalités. Mais même en pareil cas, l'introduction de robots peut faire baisser les salaires moyens pendant longtemps et accroître la part du capital.

En essayant de simplifier les choses autant que possible, nous avons perdu de vue beaucoup des obligations auxquelles une telle société aurait à faire face. Il pourrait être nécessaire de veiller à ce que la demande globale reste suffisante face à une concentration grandissante du pouvoir d'achat, de faire face aux troubles sociaux et politiques liés aux bas salaires et aux inégalités flagrantes, et de remédier aux conséquences de la baisse des salaires pour assurer aux travailleurs les moyens de payer les soins et l'éducation et d'investir dans l'avenir de leurs enfants.

Nous avons jusqu'à présent supposé implicitement que la répartition des revenus du capital reste hautement inégalitaire. Mais la hausse de la production globale par habitant signifie que tout le monde pourrait être mieux loti si les revenus du capital étaient redistribués. Les avantages d'un revenu de base financé par l'imposition du capital deviennent évidents. Bien entendu, au cours des dernières décennies, grâce à la mondialisation et à l'innovation technologique, il est devenu plus facile d'échapper à la taxation du capital. Notre analyse renforce donc l'acuité de la question : «À qui appartiendront les robots?» ■

Andrew Berg est Directeur adjoint de l'Institut de développement des capacités du FMI, Edward F. Buffie est Professeur d'économie à l'Indiana University Bloomington et Luis-Felipe Zanna est Économiste principal au Département des études du FMI.

Bibliographie :

Autor, David, 2014, "Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation," *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 29, No. 3, pp. 3–30.

Čapek, Karel, 1921, R.U.R. (Rossum's Universal Robots) (New York: Penguin).

Ford, Martin, 2015, *The Rise of the Robots* (New York: Basic Books).

Freeman, Richard B., 2015, "Who Owns the Robots Rules the World," *IZA World of Labor*, May.

Frey, Carl Benedikt, and Michael A. Osborne, 2013, "The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation?" *Oxford University paper* (Oxford, United Kingdom).

Gordon, Robert, 2016, *The Rise and Fall of American Growth: The U.S. Standard of Living since the Civil War* (Princeton, New Jersey: Princeton University Press).

Kurzweil, Raymond, 2005, *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology* (New York: Viking).

Sachs, Jeffrey D., and Laurence Kotlikoff, 2012, "Smart Machines and Long-Term Misery," *NBER Working Paper 18629* (Cambridge, Massachusetts: National Bureau of Economic Research).