INSTITUT
POUR QUE L'AVENIR AIT BESOIN DE NOUS
SAPIENS

L'utilité de la formation pro face à la révolution digitale

Impacts macroéconomiques d'un libre accès à une formation continue

Etude — Février 2019

Table des matières

A propos des auteurs....2
A propos de l'Institut Sapiens....3
Genèse de l'étude - chaire TDTE....4

Résumé de l'étude....5

Synthèse de l'étude....7

Impact économique de la formation pro....13
I - Un premier public cible : les décrocheurs....13
II - Modélisation du dispositif pour un individu....15
1 - Transformation des métiers et dépréciation des qualifications....15
2 - Modéliser une refonte de la formation pro....18
III - Résultats des simulations des deux types de modélisation....19
1 - Financement du dispositif par l'épargne de l'individu....20
2 - Financement par prélèvement obligatoire sur les salaires....21
IV - Discussion des résultats....22
1 - Les tests de sensibilité aux paramètres....22
2 - Le caractère central des rendements de la formation continue....23
V-Conclusion....25

Références bibliographiques....26

Annexe - modélisation économique....29

À propos des auteurs

Nathalie Chusseau

Professeure d'économie

Professeure des Universités en économie à l'Université de Lille et chercheure associée à la Chaire Transitions Démographiques, Transitions Economiques. Ses travaux portent sur l'économie des inégalités, l'éducation et la mobilité intergénérationnelle, et l'économie de la mondialisation. Elle a récemment publié une note pour le Conseil Régional des Hauts-de-France intitulée : *La mobilité sociale en Hauts-de-France*, N. Chusseau, V. Schmitz et G. Marlier, Repères Hauts-de-France n°11, Janvier 2019, ainsi qu'un article sur le modèle allemand: *Is the German strategy applicable to France?*, N. Chusseau et J. Hellier, Economie et Prévision, 211-212, November 2017/2-3.

Jacques Pelletan

Maître de conférences en économie

Ingénieur des Ponts et Chaussées et Docteur en sciences économiques, Jacques Pelletan est Maître de conférences à l'Université Paris 8 et Professeur associé à l'Institut Louis Bachelier. Ses travaux portent sur la théorie du risque, les comportements illégaux et les enjeux économiques de la démographie. Il a récemment publié "Sociétés sécuritaires ou sociétés de confiance?", qui s'est vu remettre le Prix Risques - Fédération Française de l'Assurance (2018).

À propos de l'Institut Sapiens

L'Institut Sapiens est la première « think tech » française. Organisme indépendant à but non lucratif, sa vocation est de peser sur le débat économique et social français contemporain par la diffusion de ses idées et d'innover par ses méthodes, son ancrage territorial et la diversité des intervenants qu'il mobilise, afin de mieux penser les enjeux vertigineux du siècle.

Impulsé par Olivier Babeau, Laurent Alexandre et Dominique Calmels, en partenariat avec la chaire Capital Humain de l'université de Bordeaux, Sapiens a vocation à définir le rôle de l'humain dans une société bouleversée par le numérique. Son axe principal de travail est l'étude et la promotion des nouvelles formes d'écosystèmes favorables au développement économique et au bien-être social.

Sapiens fédère un large réseau d'experts issus de tous horizons, universitaires, avocats, chefs d'entreprise, entrepreneurs, hauts fonctionnaires, autour d'adhérents intéressés par le débat touchant aux grands enjeux actuels.

INSTITUT
POUR QUE L'AVENIR AIT BESOIN DE NOUS
SAPIENS

Genèse de l'étude - chaire TDTE

La présente étude a été initiée et impulsée par la chaire "Transitions démographiques, Transitions économiques".

La Chaire TDTE a initié une série de travaux étudiant un dispositif de formation spécifique : la mise en place d'une année de formation universelle, pouvant être utilisée librement entre 16 et 64 ans, avec prise en charge du salaire.

Ce dispositif qualifié de « droit à une deuxième chance », vise à donner un droit de formation à quatre publics bien précis : (i) les jeunes décrocheurs pour leur réinsertion sur le marché du travail, (ii) les chômeurs touchés soit par un choc technologique soit par un choc sectoriel en raison d'une concurrence internationale accrue, et donc en proie à une obsolescence de leurs qualifications, (iii) des actifs qui voient une partie de leurs compétences disparaître en raison de l'évolution technologique aussi bien dans l'industrie que dans le tertiaire, et (iv) les actifs insatisfaits, en vue d'une reconversion professionnelle. Ce droit serait inscrit sur le Compte Personnel d'Activité.

TRANSITIONS DÉMOGRAPHIQUES TRANSITIONS ÉCONOMIQUES

Résumé de l’étude

La formation tout au long de la vie constitue un enjeu clé pour nos économies. D’abord, parce que le vieillissement démographique laisse ouverte la possibilité de travailler jusqu’à un âge plus avancé. Ensuite, parce que le processus schumpétérien de destruction-créatrice mu par l’innovation provoque une évolution très marquée des compétences demandées. D’un point de vue collectif, cela produit une polarisation des emplois : les qualifications intermédiaires disparaissent au profit de qualifications très faibles ou très élevées.

D’un point de vue individuel, la perte d’emploi provoque à court-terme une dégradation des conditions de vie si une qualification solide n’est pas apportée en parallèle. Par ailleurs, **le système de formation continue se révèle peu performant en France** : on compte seulement 36% des adultes ayant accès à une formation chaque année, contre 53% en Allemagne et 56% au Royaume-Uni[1]. En outre, **la formation professionnelle ne bénéficie ni aux actifs peu qualifiés ni aux seniors, les deux catégories les plus vulnérables au chômage**[2]. Il est donc primordial de renouveler profondément la manière dont est conçue la formation tout au long de la vie et à qui elle est attribuée.

L’annonce par le Président Emmanuel Macron de consacrer 15 milliards € du Plan d’investissement à la formation professionnelle témoigne de l’enjeu qu’elle représente, notamment en matière de lutte contre le

1 *Source : OCDE*

2 *Source : Domingues Dos Santos et Pelletan, 2015*

chômage, de compétitivité et de capacité d'innovation. **L'objectif est bien d'accroître la performance du système de formation français pour ses bénéficiaires, et de générer des gains de productivité substantiels pour le pays.**

La présente étude démontre l'utilité et l'efficacité économique de la formation professionnelle en évaluant l'impact sur la production de l'accès individuel à une politique de formation professionnelle de six mois ou d'une année tout au long de la vie. Nous supposons ici qu'une partie de la population va être touchée par une obsolescence partielle de ses qualifications (en particulier des compétences spécifiques) due à des changements technologiques non anticipés. Cette dépréciation du capital humain peut alors être compensée par une politique de formation professionnelle de six mois à un an.

Les résultats sont sans appel : **si l'on forme 3 millions de personnes** (soit 10% de la population active française, c'est-à-dire la part des actifs occupant un emploi touché directement par la révolution digitale) **sur une durée de 6 mois, on obtient alors une augmentation de 2,5% du PIB. Si la durée de la formation atteint 1 an, le PIB progresse de 3,4%, grâce à une amélioration du capital humain et de la productivité.**

Ainsi, les gains sur longue période peuvent être évalués entre 62 et 86 Milliards d'Euros et sont à mettre en perspective avec le coût de telles mesures. Compte tenu du coût horaire de la formation professionnelle (11€ de l'heure), une formation solide de 6 mois pour 10% de la population active, soit 15 Milliards d'Euros.

Synthèse

Combien de nos emplois sont-ils menacés ?

Quelle vulnérabilité des emplois face à la transition digitale ? Nous savons en réalité peu de choses sur leur évolution future dans un contexte de mutation technologique et numérique. Bien évidemment, des travaux et des méthodes existent sur l'évaluation des perspectives d'automatisation par profession (Frey et Osborne, 2017). En utilisant le même type de méthode, le cabinet de conseil Roland Berger (2014) estime que **42 % des emplois seraient fortement automatisables**, et donc menacés dans l'industrie et le tertiaire en France. Mais, des limites certaines contestent la portée de telles études. Elles sont de deux ordres :

D'abord, les professions identifiées comme menacées par l'automatisation comportent souvent de nombreuses tâches difficilement automatisables. Ensuite, toutes les personnes qui exercent une même profession ne réalisent pas exactement les mêmes tâches.

Il est donc abusif de procéder par profession et nous devons aller plus loin, ouvrant les boites noires et nous attacher plus spécifiquement aux tâches pour mieux comprendre une réalité mouvante. Les études les plus pointues formulent alors une autre version (Arntz, Gregory et Zierahn, 2016) : **« seuls » 9 % des emplois en France ont**

un risqué élevé (supérieur à 70%) d'être automatisés et seraient ainsi menacés. Ces chiffres sont convergents avec ceux apportés par le Conseil d'Orientation pour l'Emploi en 2017 avec une fourchette de l'ordre de **10% d'emplois qui, par les tâches qu'ils comportent, cumulent les vulnérabilités** ; l'existence même en serait menacée par les différents canaux d'automatisation.

Si tous les emplois ne sont pas détruits, beaucoup seront néanmoins profondément bouleversés, comportant une proportion plus ou moins grandes de tâches elles-mêmes supprimées. **Le chiffre de 40% n'est donc pas celui des métiers appelés à disparaitre, mais bien plutôt celui des métiers appelés à profondément évoluer**. Un détour par l'Histoire – récente – permet d'y voir plus clair. **Historiquement, les tâches les plus affectées par la montée en puissance du numérique ont été les tâches manuelles et répétitives, tour à tour mécanisées puis robotisées**. Deux ruptures technologiques simultanées ont élargi le champ des activités affectées par l'automatisation à des tâches à plus forte valeur ajoutée (service client, chaîne d'approvisionnement, marketing, etc.) : **le développement du «Machine Learning »**, de l'informatique cognitive / décisionnelle et de l'intelligence artificielle qui permet de prendre en charge des tâches plus complexes (y compris interactives) ; **l'automatisation de tâches manuelles non répétitives** ou demandant un degré plus élevé d'adaptation à un environnement « naturel ». C'est d'abord l'industrie qui a été touchée de plein fouet. Ainsi, **entre 1980 et 2012, les gains de productivité ont représenté 64% des réductions d'emplois industriels, loin devant les délocalisations ou le renforcement de la concurrence internationale** (Roland Berger, 2014).

Aujourd'hui, des emplois qualifiés, à fort contenu intellectuel sont concernés. **La frontière qui sépare les métiers automatisables des autres ne recoupe plus la distinction « manuel » / « intellectuel »** comme c'était le cas jusqu'ici. Est-ce pour autant la déprise de l'homme face au travail ? Non, bien évidemment, alors que les travailleurs disposent d'avantages cognitifs comparatifs infranchissables sur les machines en termes d'interactions sociales, d'adaptabilité ou de capacité à résoudre des problèmes (Autor, 2015). Mais, cela invite à repenser profondément aux notions de substituabilité et de complémentarité avec la machine.

Ce qui rend une tâche automatisable à l'heure du digital, c'est avant tout son caractère répétitif, qu'elle soit manuelle ou intellectuelle. Ainsi, des métiers dont l'essentiel des tâches sont répétitives et nécessitent peu de décision, bien que qualifiés, sont déjà concernés par l'automatisation en particulier dans le tertiaire. A l'inverse, **les tâches préservées de l'automatisation sont celles qui requièrent**

de la créativité, du sens artistique, ou de l'intelligence sociale et du contact humain, qu'elles se rapportent à un métier manuel ou intellectuel, peu ou fortement qualifié.

Complémentarité ou substituabilité de l'homme et de la machine ?

Quelques exemples permettent de mieux illustrer cette polarisation. Prenons un universitaire : il découvre généralement avec la fin de l'année que certains ont manifestement compris ce qu'il racontait, alors que d'autres élèves…moins. Une standardisation de tests corrigés automatiquement et sans vertu de sanction pourrait permettre d'identifier à la fin de chaque cours les difficultés de compréhension et ceux qui les éprouvent. Bien évidemment, cela pourrait être dévoyé, encourageant la flemme – naturelle – de l'universitaire puis dans un second temps la disparition partielle de son poste. Mais cela peut être avant tout la perspective de pouvoir consacrer un peu plus de temps avec ceux qui ont du mal. Dans cette seconde voie, il y a complémentarité (substituabilité si le système est dévoyé) entre l'homme et la machine.

Le même type d'exemple existe dans le secteur médical, avec un «*débroussaillage*» du diagnostic et des modes de traitement grâce au Big Data et à l'intelligence artificielle. Laissant ainsi plus de temps à chercher le meilleur traitement en interaction avec le patient et son vécu (là encore, le système peut être dévoyé et pousser à une coupe claire dans les coûts et personnels…). Ainsi, comme tout processus de destruction-créatrice, la digitalisation de l'économie, tout en fragilisant certaines catégories d'emplois ou de tâches, en fait émerger de nouvelles.

Bien évidemment, **les tâches créées ne se substitueront pas à celles qui seront détruites, ni en termes de compétences requises, ni en termes de positionnement sur la chaîne de valeur, ni même en termes de répartition géographique**. Les incertitudes sont prégnantes et l'on ne peut véritablement connaître la place et la nature des métiers appelés à émerger, même s'il est usuel - et pratique - d'invoquer quelques tâches. **Dans ce contexte incertain, et alors que nous devons passer d'une forme de capital humain substituable par la machine à une forme qui lui en est complémentaire, la formation tout au long de la vie est d'une importance majeure.** Cette note présente les résultats de la modélisation macroéconomique d'une réforme profonde de la formation professionnelle (Chusseau et Pelletan, 2018).

Repenser la formation professionnelle : vers une croissance renouvelée

Nous le savons, la formation tout au long de la vie constitue un enjeu clé pour nos économies. D'abord, parce que le vieillissement démographique laisse ouverte la possibilité de travailler jusqu'à un âge plus avancé. Ensuite, parce que le processus de destruction-créatrice mu par l'innovation opère une évolution très marquée sur les emplois. **Les emplois se polarisent et il est déterminant – individuellement et collectivement - que ceux qui disparaissent ne laissent pas la place à une dégradation des conditions de vie et à des emplois subalternes.** Or, le système de formation continue se révèle peu performant en France : **on compte seulement 36% des adultes ayant accès à une formation chaque année, contre 53% en Allemagne et 56% au Royaume-Uni** (OCDE). Elle ne bénéficie que marginalement à ceux qui sont à l'écart du marché de l'emploi et aux séniors. Elle sera fortement chamboulée par les exigences de l'intelligence artificielle et des nouvelles formes de robotisation.

L'annonce par le Président Emmanuel Macron de consacrer 15 milliards du Plan d'investissement à la formation professionnelle témoigne de l'enjeu qu'elle représente, notamment en matière de lutte contre le chômage, de compétitivité et de capacité d'innovation. **L'objectif est bien d'accroître la performance du système de formation français pour ses bénéficiaires, et de générer des gains de productivité substantiels pour le pays.** Plusieurs publics sont à prendre en compte mais il faut avant tout s'attacher à ceux qui ont subi – et vont plus encore subir dans le futur - un choc technologique qui les fragilise.

Jusqu'à présent, peu de modèles théoriques ont étudié l'impact de la formation continue sur les équilibres macroéconomiques et la croissance. Pour ce rapport nous avons construit un modèle dynamique de capital humain (modèle SCOLA) dans lequel l'accumulation du capital humain est réalisée via la formation initiale, chaque individu choisissant le temps durant lequel il se forme avant de se consacrer à une activité rémunérée. Puis, un choc technologique vient toucher une partie de la population active (10% dans la situation de référence, avec un capital humain amputé de 20%, des tests de sensibilité étant ensuite menés). Différents scénarii sont simulés et comparés à une situation de référence dans laquelle aucune formation convaincante n'est apportée aux actifs vulnérables (proche de la situation actuelle, en réalité…). Dans les autres scénarii, les actifs bénéficient, en plus de leur formation initiale et après ce choc technologique, d'une durée de formation continue leur permettant de compenser la dépréciation ou l'obsolescence des qualifications. Les effets macroéconomiques d'une telle réforme seraient massifs.

En formant 10% de la population de manière volontariste, les gains en termes de Produit Intérieur Brut seraient respectivement de 2,5% pour 6 mois de formation à temps plein, et 3,4% pour une année. Ces résultats sont concordants, quels que soient les modes de remplacement des revenus durant la formation : qu'ils soient maintenus par l'effort public ou par l'épargne individuelle.

Ainsi, **les gains sur longue période peuvent être évalués entre 62 et 86 Milliards d'Euros et sont à mettre en perspective avec le coût de telles mesures**. Compte tenu du coût horaire de la formation professionnelle (11€ de l'heure), une formation solide de 6 mois pour 10% de la population active (environ 3 millions de personnes, formées sur un quinquennat) correspondrait au montant total de l'investissement évoqué par le Président de la République, soit 15 Milliards d'Euros.

Une telle conception volontariste de la formation professionnelle, notamment pour ceux qui seront malmenées par les mutations du siècle, est donc gagnante. Bien évidemment, les hypothèses sur l'efficacité dans le processus d'accumulation du capital humain sont déterminantes pour les résultats : il faut des programmes de formation pertinents et performants, ce qui n'est pas toujours une garantie ! Or, si des estimations solides sont à présent connues pour les rendements de la formation initiale (voir notamment Bils et Klenow, 2000, qui donnent des paramètres numériques) nous en savons moins pour la formation tout au long de la vie. Cependant, même en prenant, comme dans le cadre de ce rapport, des rendements moitié moindres que lors de la formation initiale, les résultats donnés sont de l'ampleur énoncée plus haut.

Si un investissement massif dans la formation des actifs touchés par un choc technologique apparait salvateur, le maintien du niveau de vie durant la formation est également crucial. Si le choix du mode de financement (par l'aide publique ou l'épargne individuelle) n'a quasiment aucun impact sur les grands équilibres de croissance, il influe fortement sur les incitations qui seront offertes aux personnes concernées, majoritairement modestes. Dès lors, le nouveau système ne sera pas incitatif sans un maintien majoritairement public des revenus. Quel pourrait être le schéma de financement de ce revenu de remplacement si l'on souhaite garder un équilibre des finances publiques ?

Si le coût des 6 mois de formation proprement dite est en ligne avec les montants évoqués par le gouvernement, de l'ordre de 15 Milliards d'Euros, les flux nécessaires pour financer les revenus de remplacement d'environ 3 millions de personnes (10% de la population active) sont plus importants : pour un remplacement à 100%[1], il faut compter 80 Milliards d'euros. Il est évidemment irréaliste de les former instantanément en surtaxant d'autant ceux qui travaillent ! Mais, cette formation pourrait tout à fait être lissée sur l'horizon d'un quinquennat par un redéploiement annuel d'environ 16 Milliards d'Euros.

Le modèle de financement pourrait être le suivant :

(i) 8 Milliards d'euros proviendraient des ASSEDIC, ce qui correspond aux prestations de 20% des demandeurs d'emploi (les dépenses des ASSEDIC représentent près de 40 Milliards d'euros de dépenses annuelles) qui aujourd'hui ne sont que très peu formés. Le remplacement à 100% des revenus serait associé alors à une obligation de formation à temps plein durant 6 mois.

(ii) 8 Milliards d'euros seraient issus d'un redéploiement des crédits de la formation professionnelle s'élevant aujourd'hui annuellement à 32 Milliards d'euros, profitant seulement marginalement aux demandeurs d'emploi.

Les mutations technologiques dont nous voyons les premières bribes vont s'étendre au sein de nos économies, quelles que soient les politiques publiques menées. En revanche, que ces perspectives soient porteuses de possibilités vertueuses ou d'un sombre remplacement de l'humain par la machine dépend de ce que nous saurons en faire collectivement. **Former, y compris en cours d'existence, face à l'incertitude et aux chocs technologiques est la priorité**. Cela suppose une remise à plat massive des systèmes de formation professionnelle et un investissement conséquent : la croissance économique comme l'emploi des plus vulnérables nous poussent à le faire.

1 - Une hypothèse « dégradée » par rapport à la proposition initiale consisterait à ne remplacer que partiellement les revenus touchés avant la formation. Si l'on veut maintenir un caractère incitatif à la formation, le taux de remplacement devrait néanmoins être significativement supérieur au taux de remplacement assuré par les ASSEDIC.

Impact économique de la formation professionnelle

I - Un premier public cible : les décrocheurs

Une première étude menée pour la Chaire (Chusseau, 2017) a évalué la mise en œuvre d'un tel dispositif ciblé sur les décrocheurs en mesurant l'impact sur (i) le niveau général d'éducation, (ii) le revenu par habitant et (iii) la mobilité sociale intergénérationnelle. L'évaluation s'opère à partir de la construction et la simulation d'un modèle stylisé intergénérationnel d'éducation représentant les principales caractéristiques du système éducatif français. Dans ce modèle, après avoir reçu une éducation de base obligatoire financée par l'Etat, les individus vont choisir ou non de poursuivre une éducation supérieure en suivant des études techniques ou en intégrant des formations plus longues. Le choix de l'individu de poursuivre une éducation supérieure va dépendre de son niveau d'éducation à la fin de l'éducation de base, et des coûts qu'elle engendre comparés au revenu généré.

Dans ce modèle, même si les individus passent le même temps dans l'éducation de base obligatoire, ils vont différer en termes de niveau d'éducation à la fin de l'éducation de base en raison de la transmission du niveau d'éducation des parents aux enfants à l'intérieur de la famille. A la génération initiale, chaque parent possède un niveau d'éducation différent réparti sur un intervalle déterminé. En France, la répartition initiale du niveau d'éducation est très inégalitaire.

Les individus au sein d'une génération sont donc divisés en plusieurs groupes du point de vue de leur choix éducatif (ceux qui s'arrêtent à l'éducation de base et ceux qui poursuivent une éducation supérieure technique ou généraliste). Il existe des situations dans lesquelles certains demeurent au niveau d'éducation de base obligatoire de génération en génération : ils se trouvent alors dans une « *trappe à sous-éducation* ». Des individus issus de familles non qualifiées obtiendront un faible niveau d'éducation à la fin de l'éducation de base obligatoire et n'auront aucune incitation à poursuivre des études supérieures car le coût de l'éducation supérieure sera plus élevé que le bénéfice qu'ils peuvent retirer de cette éducation.

Après avoir simulé ce modèle en permettant aux individus ayant seulement le niveau d'éducation de base de bénéficier d'une année de formation qualifiante gratuite, Chusseau montre que les conséquences qualitatives de cette mesure seraient rapides et très importantes pour les générations futures.

Tout d'abord, le niveau général d'éducation va augmenter : le niveau de capital humain à l'état stationnaire dans les études techniques et dans les études longues est sensiblement plus élevé avec la mise en place du dispositif. Ensuite, le revenu par habitant dans le scénario avec formation qualifiante est de 6,56% supérieur à celui observé à l'état stationnaire dans le scénario de référence, sans formation qualifiante.

Enfin, le dispositif évalué stimule fortement la mobilité sociale. En effet, après deux générations, les individus issus de familles non qualifiées bénéficiaires du dispositif vont pouvoir poursuivre des études supérieures, techniques ou généralistes. Dans le scénario de référence sans la mesure, cela ne se produit qu'à partir de la septième génération.

II - Modélisation du dispositif pour un individu soumis à un choc technologique non anticipé et à une obsolescence de ses qualifications

Cette nouvelle étude propose une modélisation permettant d'évaluer l'impact pour un individu et la société, d'un recours à la formation professionnelle au cours de sa vie active. Si les effets de la formation continue ont fait l'objet de nombreuses évaluations empiriques (Dearden et al., 2006 ; Goux et Maurin, 2000 ; Arulampalam et Booth, 2001 ; Bartel, 2000 ; Ballot et al., 2006), peu de modèles théoriques ont étudié l'impact de la formation continue sur les équilibres macroéconomiques et la croissance.

Dans le cadre de ce rapport, un modèle dynamique de capital humain est construit, dans lequel l'accumulation du capital humain est réalisée via la formation initiale, chaque individu choisissant le temps durant lequel il se forme avant de se consacrer à une activité rémunérée. Cependant, une partie des actifs (10% des emplois selon Arntz et al., 2016 ; Autor, 2015 ; et le rapport du COE, 2017) subit une dépréciation de ses qualifications, en particulier de certaines compétences spécifiques, notamment sous l'impact de chocs technologiques ou sectoriels non anticipés. **Nous estimons l'ampleur de ce choc équivalente à une perte de 20% du capital humain et donc à une perte de 20% du revenu**. L'appréciation de ce choc mérite d'être plus explicitement précisée.

1 - Transformation des métiers : quelle dépréciation des qualifications ?

Il n'est pas simple d'évaluer le nombre d'emplois vulnérables. Une première approche consiste à évaluer les perspectives d'automatisation par profession (Frey et Osborne, 2017). En utilisant la méthode proposée par ces chercheurs sur données françaises, le cabinet de conseil Roland Berger (2014) estime que 42 % des emplois seraient fortement automatisables, et donc menacés dans l'industrie et le tertiaire en France. Cependant, deux limites peuvent être vues à cette approche : (i) les professions identifiées comme menacées par l'automatisation comportent souvent de nombreuses tâches difficilement automatisables (Arntz, Gregory et Zierahn, 2016) ; (ii) toutes les personnes qui exercent une même profession ne réalisent pas exactement les mêmes tâches. C'est pourquoi, on peut chercher à évaluer le risque d'automatisation à un niveau plus fin, celui des tâches.

Dans le cadre de cette approche, Arntz et al. (2016) estiment ainsi que « seuls » 9 % des emplois en France ont un risqué élevé (supérieur à 70%) d'être automatisés. Le Conseil d'Orientation pour l'Emploi (2017) a confirmé cette estimation dans le cas français en pointant que « moins de 10 % des emplois cumulent des vulnérabilités qui pourraient en menacer l'existence dans un contexte d'automatisation ».

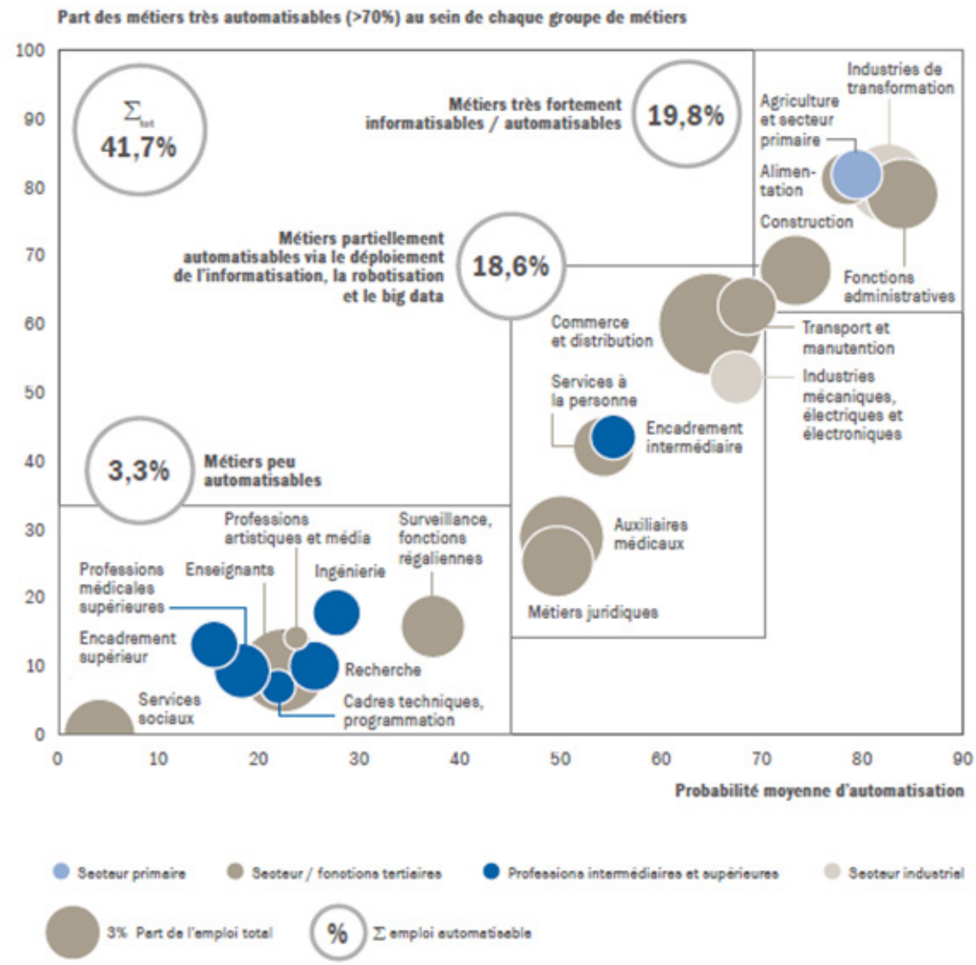
Historiquement, les tâches les plus affectées par la montée en puissance du numérique ont été les tâches manuelles et répétitives, tour à tour mécanisées puis robotisées. Deux ruptures technologiques simultanées ont élargi le champ des activités affectées par l'automatisation à des tâches à plus forte valeur ajoutée (service client, chaîne d'approvisionnement, marketing, etc.) : le développement du «Machine Learning », de l'informatique cognitive / décisionnelle et de l'intelligence artificielle qui permet de prendre en charge des tâches plus complexes (y compris interactives) ; l'automatisation de tâches manuelles non répétitives ou demandant un degré plus élevé d'adaptation à un environnement « naturel ».

Ainsi, **entre 1980 et 2012, les gains de productivité ont représenté 64% des réductions d'emplois industriels, loin devant les délocalisations ou le renforcement de la concurrence internationale** (Roland Berger, 2014). Des emplois qualifiés, à fort contenu intellectuel sont maintenant concernés. La frontière qui sépare les métiers automatisables des autres ne recoupe plus la distinction « manuel » / « intellectuel » comme c'était le cas jusqu'ici.

Ce qui rend une tâche automatisable à l'heure du digital, c'est avant tout son caractère répétitif, qu'elle soit manuelle ou intellectuelle. Ainsi, des métiers dont l'essentiel des tâches sont répétitives et nécessitent peu de décision, bien que qualifiés, sont déjà concernés par l'automatisation en particulier dans le tertiaire. A l'inverse, les tâches préservées de l'automatisation sont celles qui requièrent de la créativité, du sens artistique, ou de l'intelligence sociale et du contact humain, qu'elles se rapportent à un métier manuel ou intellectuel, peu ou bien qualifié.

Quelques exemples de cette polarisation peuvent être donnés. Dans le secteur médical, si le métier de médecin et le besoin d'analyse sera sans cesse plus recherché, certains personnels de laboratoire pourront être très largement affectés par le développement du Big Data. De même, dans le secteur juridique, des logiciels tels que Lex Machina pourront traiter et analyser des informations de manière standardisée, déplaçant les métiers vers la plaidoirie ou le conseil auprès des clients.

Au sein des métiers de l'industrie, entre 25 et 50 %, auraient une probabilité très forte d'être automatisés dans les 20 ans à venir, créant de nouveaux espaces pour de nouveaux métiers. Le graphique ci-dessous permet de mettre en lumière ces analyses (Roland Berger, 2014).



Note : probalités d'automatisation par métier établies par C. B. Frey et M. A. Osborne, appliquées à la structure de l'emploi français (INSEE)
Source : INSEE, Carl Benedikt Frey and Michael A. Osborne, *The Future of Employment*, Oxford Martin School, 2013, analyse Roland Berger

Cependant, si beaucoup de métiers peuvent apparaitre répétitifs, il convient de nuancer l'hypothèse selon laquelle tous ces emplois répétitifs seraient automatisables. Dans un article publié en 2015, David Autor souligne que les travailleurs disposent encore d'un avantage comparatif sur les machines en termes d'interactions sociales, d'adaptabilité, de flexibilité et de capacité à résoudre des problèmes. **Dans ce contexte, nous choisissons de calibrer - dans l'hypothèse centrale – un choc technologique venant à toucher 10% de la population.** Par la suite, des tests de sensibilité sont effectués sur la taille de la population concernée et l'amplitude du choc.

Comme tout processus de destruction-créatrice, la digitalisation de l'économie, tout en fragilisant certaines catégories d'emplois, en fait émerger de nouvelles. Mais les emplois créés ne se substitueront pas aux emplois détruits, ni en termes de compétences requises, ni en termes de positionnement sur la chaîne de valeur, ni même en termes de répartition géographique. Les incertitudes sont marquantes et l'on ne peut véritablement connaître la place et la nature des métiers appelés à émerger, même s'il est usuel - et pratique - d'invoquer les tâches autour du maniement des données (data miner) ou de la refonte des organisations et des interactions sociales (community manager…). Dans ce contexte incertain, nous modélisons l'effet macroéconomique d'une réforme profonde de la formation professionnelle.

2 - Modéliser une refonte de la formation professionnelle (modèles en annexe)

En prenant comme scénario de référence une situation où l'individu n'a pas accès à la formation continue après le choc, nous examinons l'impact d'une année de formation à temps plein (le cas plus modeste de six mois de formation à temps plein est également examiné). Plusieurs scenarii sont simulés afin de tester la sensibilité des résultats du modèle à la part des emplois frappés par le choc et à l'ampleur de celui-ci.

Le modèle SCOLA ainsi construit est un modèle à générations imbriquées qui tient compte de l'espérance de vie. Les individus naissent sans aucun actif. Seule la consommation leur procure de l'utilité. Ils investissent en éducation (formation initiale) au début de leur vie, puis travaillent jusqu'à leur mort. Leur revenu salarial dépend de leur niveau de capital humain lui-même déterminé par une fonction d'éducation. Dans le modèle séminal, la consommation durant la période de formation est financée par les revenus futurs. Chaque individu va maximiser sa consommation intertemporelle, financée dans le cadre de marchés complets par ses revenus intertemporels. Tous les individus choisissent alors une durée de formation initiale telle que le rendement marginal de l'éducation égalise le taux d'intérêt.

On suppose ensuite qu'en raison d'un choc technologique dont la répartition est lissée dans le temps, 10% de la population subit une dépréciation marquée de son capital humain. Les individus ont alors la possibilité ou non de se former à temps plein durant six mois ou un an.

Deux scénarii sont modélisés concernant le financement de la consommation durant cette période de formation :

1) La consommation est financée dans le cadre de marchés complets par désaccumulation de l'épargne constituée durant la vie active.

2) Le salaire qu'aurait touché la personne en continuant à travailler après le choc technologique est maintenu et financé par une taxe pesant sur les revenus du travail uniquement. Dans cette variante, on suppose que le salaire que l'agent aurait touché après le choc s'il ne se formait pas est entièrement conservé durant la formation. On considère alors un paramètre τ correspondant au taux d'imposition sur les revenus du travail permettant par une surtaxe de financer le remplacement de salaire durant la période de formation.

Dans les deux cas, on considère que le coût de la formation elle-même est financé par ailleurs avec un système d'imposition qui n'est pas modélisé ici.

Pour ces deux modélisations, deux situations sont comparées sur le long terme, à partir des équilibres stationnaires : (i) celle où les individus n'accèdent pas à la formation continue et dont le capital humain est uniquement déterminé par la durée de formation initiale, et (ii) celle où les individus suivent en plus de leur formation initiale une durée de formation continue pour compenser la dépréciation de leurs qualifications liée au choc technologique subi et non anticipé (six mois ou un an).

La fonction de production est de type Cobb-Douglas : le capital humain et le capital physique sont rémunérés à leur productivité marginale. La résolution du modèle permet alors de calculer pour l'ensemble des générations le stock agrégé de capital humain, le stock agrégé de capital physique, la consommation agrégée et donc la production.

III - Résultats des simulations des deux types de modélisation

Pour la simulation des deux modèles (financement du dispositif par épargne individuelle ou par impôt), nous utilisons les mêmes paramètres exogènes suivants : espérance de vie ρ (83 ans), paramètres de la fonction d'éducation ϕ , rendement de la formation initiale θf supposé deux fois supérieur à celui de la formation continue θg, part α de la rémunération du capital dans la production, productivité totale des facteurs A, répartition du choc technologique dans le temps γ, part p de la population touchée (10%), taux μ de dépréciation du capital humain liée au choc technologique (20%) :

Tableau 1 : Valeurs des paramètres exogènes mentionnés dans les modèles en Annexes

ρ	ϕ	θf	θg	α	θ	A	γ	p	μ
0.012	0.58	0.32	0.16	0.3	0.03	1	0.1	0.1	0.8

Le scénario de référence correspond à la situation où l'individu choisit de ne pas entreprendre une formation professionnelle suite au choc technologique (s'=0). Deux autres scenarii seront simulés : une situation où l'individu choisit de se former pendant un an (s'=1), et celui où il décide de se former pendant six mois (s'=0,5). On suppose un choc technologique aboutissant à une dépréciation de 20% du capital humain de l'individu (μ=0,8).

1 - Financement du dispositif par l'épargne de l'individu

En formant 10% de la population de manière volontariste, et en considérant des rendements de la formation continue moitié moindres à ceux de la formation initiale, les gains en termes de production sont respectivement de 2,48% pour 6 mois de formation à temps plein, et 3,43% pour une année si le financement de la consommation s'effectue de manière individuelle par désépargne (Tableau 2). **Les gains à long terme peuvent être évalués en conséquence entre 62 et 86 Milliards d'Euros.**

Compte tenu du coût horaire de la formation professionnelle (11€ de l'heure), une formation solide de 6 mois pour 10% de la population active (environ 3 millions de personnes, formées sur un quinquennat) correspondrait au montant total de l'investissement évoqué par le Président de la République, soit 15 Milliards d'Euros[2]. Les tests de sensibilité menés sur l'ampleur du choc sur les qualifications ne modifient pas la teneur de ces résultats (voir plus bas).

Tableau 2 : Calcul des augmentations des valeurs agrégées à l'état stationnaire par rapport au scénario de référence *(capital physique, capital humain, consommation et production)*

	K	H	C	Y
Scénario 1 (1 année de FC) versus 3 (pas de FC)	+3.31%	+3.49%	+4.20%	+3.43%
Scénario 2 (6mois de FC) versus 3 (pas de FC) :	+2.40%	+2.52%	+3.05%	+2.48%

2 - On considère une formation conséquente de 20h par semaine, soit 450h en 6 mois. Pour un coût horaire de la formation professionnelle égal à 11 euros, cela revient à 5000€ par individu pour six mois de formation soit 15 Milliards.

2 - Financement du dispositif par prélèvement obligatoire sur les salaires au moment du choc technologique

Sous les mêmes hypothèses (part de la population touchée et rendements de la formation continue), les gains en termes de production sont respectivement de 2,49% pour 6 mois de formation à temps plein, et 3,47% pour une année si le niveau de vie est maintenu et financé par l'impôt. Les gains à long-terme peuvent être évalués en conséquence entre 62 et 87 Milliards d'Euros.

Tableau 3 : Calcul des augmentations des valeurs agrégées à l'état stationnaire par rapport au scénario de référence *(capital physique, capital humain, consommation et production)*

	K	H	C	Y
Scénario 1 (1 année de FC) versus 3 (pas de FC)	+3.34%	+3.50%	+3.40%	+3.47%
Scénario 2 (6mois de FC) versus 3 (pas de FC) :	+2.41%	+2.52%	+2.24%	+2.49%

Ainsi, **le financement de la consommation individuelle pendant la période d'enseignement à temps plein n'a pratiquement aucun impact sur l'équilibre macroéconomique et la croissance**, excepté sur la consommation agrégée qui diminue sensiblement avec l'instauration de la taxe.

Néanmoins, si les agrégats macroéconomiques ne sont pas modifiés par le mode de financement, dans un contexte de choc technologique ou sectoriel, **le choix du mode de financement a un impact significatif sur la distribution des ressources et les inégalités**. Si nous choisissons cette seconde option, l'allocation des ressources publiques qui permettrait de financer par l'impôt une telle mesure est absolument centrale en termes d'équilibre des finances publiques. Le coût des 6 mois de formation serait toujours en ligne avec les montants évoqués par le gouvernement, de l'ordre de 15 Milliards d'Euros.

Les mouvements sont plus importants pour financer les revenus de remplacement : si les revenus sont remplacés à 100% durant les 6 mois de formation[3], il faut compter 80 Milliards d'euros pour remplacer les

3 - Une hypothèse « dégradée » par rapport à notre proposition initiale consisterait à ne remplacer que partiellement les revenus touchés avant la formation. Si l'on veut maintenir un caractère incitatif à la formation, le taux de remplacement devrait néanmoins être significativement supérieur au taux de remplacement assuré par les ASSEDIC.

revenus de 3 millions de personnes[4], correspondant à une surtaxe sur les revenus du travail de plus de 10% si l'on souhaitait les former instantanément. Cette hypothèse étant irréaliste, il faut lisser la formation des 3 millions d'individus sur la durée du quinquennat : cela correspond à 16 Milliards annuellement.

Le modèle de financement pourrait être le suivant :

- ***8 Milliards d'euros proviendraient des ASSEDIC, ce qui correspond aux prestations de 20% des demandeurs d'emploi (les dépenses des ASSEDIC représentant environ 40 Milliards d'euros de dépenses annuelles) qui aujourd'hui ne sont que très peu formés. Le remplacement à 100% des revenus serait associé alors à une obligation de formation à temps plein durant 6 mois.***

- ***8 Milliards d'euros seraient issus d'un redéploiement des crédits de la formation professionnelle s'élevant aujourd'hui annuellement à 32 Milliards d'euros, profitant seulement marginalement aux demandeurs d'emploi.***

IV - Discussion des résultats

1 - Les tests de sensibilité aux paramètres

Proportion de la population touchée par le choc technologique	Ampleur du choc
$0,1 \le p \le 0,4$	$0,8 \le \mu \le 0.95$

Plusieurs tests de sensibilité ont été réalisés.

Premièrement, avec différents niveaux de chocs technologiques (dépréciation du capital humain de l'individu entre 20% et 5%). Deuxièmement, avec différentes parts de population concernées par le choc (entre 10% et 40%). **Le modèle est très sensible à une augmentation de la part des populations formées, car le capital humain agrégé dépend presque linéairement de ce paramètre.**

*4 -Si l'on se réfère au modèle, celui-ci détermine un taux de taxe égal à 10,5% de la masse salariale totale du pays. En France, la masse salariale représente 64% de la production en considérant le coût chargé (dans le modèle, w*Hreprésente 68% de la production). La masse salariale s'élève donc à 1600 Milliards pour une année, soit 800 Milliards pendant 6 mois. Former 3 millions d'actifs, soit 10% de la population active, correspondrait alors à 80 milliards de revenu de remplacement.*

D'autre part, l'ampleur du choc ne semble pas avoir d'impact sur les variations relatives du capital humain et de la croissance générées par l'enseignement professionnel lui-même. En effet, compte-tenu de la forme de la fonction d'accumulation du capital humain, l'équilibre stationnaire dépend largement du choc technologique, qui établit un niveau de production de référence. Mais l'augmentation relative de la production due à la formation elle-même ne dépend que très légèrement de ce niveau de référence. En d'autres termes, **le gain relatif - important - dû à une formation cohérente est sensiblement le même quelle que soit l'ampleur du choc technologique**.

2 - Le caractère central des rendements de la formation continue

Les hypothèses sur le processus d'accumulation du capital humain sont centrales dans notre modèle. En effet, si nous avons des estimations réalistes pour évaluer les rendements de la formation initiale, tel n'est pas le cas de la formation continue. **Bils et Klenow** (1998 et 2000) postulent la forme suivante pour la fonction $f(s)$ (éducation initiale dépendant du temps passé à s'éduquer s) :

$$f(s) = \frac{\theta_f}{1-\Phi} s^{1-\Phi}$$

En utilisant des données de **Psacharopoulos** (1994) sur un échantillon de 56 pays, **Bils et Klenow** (1998 et 2000) ont régressé les estimations des rendements de **Mincer** sur les niveaux de scolarité des pays pour estimer les paramètres. Leurs estimations aboutissent aux paramètres suivants : $\Phi = 0.58$ et $\theta_f = 0.32$. Le paramètre thêta déterminant le rendement marginal de la formation initiale est d'une importance capitale pour déterminer l'impact de l'éducation sur la croissance.

Cependant, si la littérature est convergente sur la formation initiale, nous avons peu d'information sur les rendements de formation continue en termes de capital humain. Considérant les estimations de l'impact de la formation continue sur les salaires, il apparaît que les rendements de la formation ne sont pas aussi élevés que ceux de la formation initiale, ce qui correspond à un mode d'accumulation fondé sur $\theta_g < \theta_f$, soit encore $g(s) = \frac{\theta_g}{1-\Phi} s^{1-\Phi} < f(s) = \frac{\theta_f}{1-\Phi} s^{1-\Phi}$.

Nous considérons dans cet article que les rendements sont moitié moindres que ceux de la formation initiale : $\theta_g = 0.16$

Un tel choix correspond aux estimations moyennes dont nous disposons, même s'il semble difficile de donner une tendance convergente à de telles évaluations. Par exemple, **Dearden et al.** (2006) aboutissent à une élasticité de 0,6 dans l'utilisation de la formation : si la formation est mobilisée à hauteur de 10% dans une entreprise (le plus souvent autour d'un mois de formation), il y aura une augmentation de 6% de la productivité, dont 3% sont pris en compte dans les salaires. Cela impliquerait qu'une augmentation de 10 points de pourcentage de la mesure de formation au niveau de l'entreprise est associée à une augmentation de 6% de la productivité, dont une augmentation de 3% des salaires.

De telles valeurs correspondent à un paramètre qui serait plus élevé que dans notre étalonnage. Cependant, les valeurs moyennes trouvées dans la littérature, principalement basées sur l'impact individuel de la formation sur les salaires (et non sur la productivité au niveau de l'entreprise comme dans **Dearden et al**. 2006), sont le plus souvent inférieures. Les estimations sont généralement inférieures à 10% au niveau individuel en cas de formation. Les estimations prenant en compte des effets fixes sont légèrement plus faibles, entre 0% et 5% (**Goux et Maurin**, 2000, **Arulampalam et Booth**, 2001).

Par ailleurs, les effets de la formation sont certainement hétérogènes. Cette hétérogénéité est en partie due aux différences dans le type de formation choisi par différents employés (traitements hétérogènes), et ces choix sont susceptibles d'être corrélés avec les caractéristiques observées et non observées des employés. Plusieurs exemples d'estimation permettent de témoigner de la très grande hétérogénéité des valeurs observées parmi lesquelles nous inférons une valeur moyenne.

Par exemple, **Chochard et Davoine** (2011) trouvent des rendements pour les formations managériales allant de -55% à 1996%. On retrouve cette hétérogénéité tant pour les programmes mis en œuvre au sein d'entreprises américaines qu'européennes...Une autre difficulté réside dans la comparabilité des données, pouvant s'attacher aux taux de formation, à la durée, ou aux montants investis. **Carriou et Jeger** (1997) estiment une élasticité égale à 2 entre le taux de formation et la valeur ajoutée par tête. **Ballot et al.** (2006) concluent également à un effet positif de la formation sur la productivité des entreprises, avec une élasticité de la valeur ajoutée à la formation de 0,194.

En d'autres termes, **une augmentation du capital de formation de 150 euros par salarié au-dessus du capital de formation moyen (environ 1600 euros par salarié) augmenterait la valeur ajoutée par tête d'environ 1,85%**.

Aubert et al. (2009) estiment le lien entre formation et productivité en utilisant plusieurs mesures : les dépenses de formation, le nombre d'heures ou celui de personnes formées. **En fournissant en moyenne 100 heures de formation dans l'année à chacun de ses salariés, une entreprise augmenterait leur productivité horaire de 6,91%. En dépensant en moyenne 150 euros par salarié pour la formation, l'entreprise augmenterait ainsi la productivité horaire d'environ 0,42%**, ce qui est plus faible que les estimations de **Ballot et al.** (2006). Enfin, **Bartel** (2000) trouve des Retours sur Investissement (ROI) compris selon les programmes entre 7 % et 49 %.

Parmi les valeurs hétérogènes apportées par la littérature, nous choisissons une valeur moyenne au sein des résultats pour lesquels les méthodes et le contexte se rapprochent le plus de la réalité que nous cherchons à cerner.

V - Conclusion

La formation tout au long de la vie, double impératif d'une société vieillissante et devant faire face aux chocs technologiques, parvient difficilement à remplir ses objectifs. Alors que le Président Emmanuel Macron souhaite une réforme du système français, nous proposons une analyse macroéconomique permettant d'évaluer le surcroît de richesse que pourraient apporter un libre accès tout au long de la vie active à une formation qualifiante de six mois ou un an. Nous souhaitons également fonder sur la théorie économique le dimensionnement de ces mesures. Quel que soit le mode de financement et sous des hypothèses conservatives, **une formation volontariste à temps plein de six mois pour 10% de la population apporterait des gains à long-terme en matière de production de 2,48%, soit environ 62 Milliards d'Euros.** Compte tenu du coût horaire de la formation, cela engagerait un investissement correspondant au montant total de l'investissement évoqué par la Président de la République, soit 15 Milliards d'Euros.

Nous proposons également de prendre en charge, par la puissance publique, le remplacement de salaire durant la période de formation, afin de tenir compte d'un impératif de solidarité et de protection de la population face aux chocs technologiques. Si les revenus sont remplacés à 100% durant les six mois de formation (une hypothèse de remplacement légèrement inférieur à 100% peut aussi être envisagée), il faut compter 80 Milliards d'euros pour remplacer les revenus de 3 millions de personnes. Lissée sur 5 ans, une telle entreprise correspondrait à 16 Milliards annuellement.

Le modèle de financement pourrait être le suivant :

(i) 8 Milliards d'euros viendraient des ASSEDIC, ce qui correspond aux prestations de 20% des demandeurs d'emploi (les dépenses des ASSEDIC représentant environ 40 Milliards d'euros de dépenses annuelles) qui aujourd'hui ne sont que très peu formés. Le remplacement à 100% des revenus serait associé alors à une obligation de formation à temps plein durant six mois.

(ii) 8 Milliards d'euros seraient issus d'un redéploiement des crédits de la formation professionnelle s'élevant aujourd'hui annuellement à 32 Milliards d'euros, profitant seulement marginalement aux demandeurs d'emploi.

Références bibliographiques

ACEMOGLU D. ET J. ANGRIST (2000), How large are the social returns to education? Evidence from compulsory schooling laws, NBER Macroeconomics Annual, 9-59.

ARULAMPALAM W. ET A.L. BOOTH (2001), Learning and earning: Do multiple training events pay? A decade of evidence from a cohort of young British men, Economica, 68, 379-400.

ARNTZ M., GREGORY T. ET U. ZIERAHN (2016), The Risk of Automation for jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis, OECD Social, Employment and Migration Working Papers, 189.

AUBERT P., CREPON B. ET P. ZAMORA (2009), Le rendement apparent de la formation continue dans les entreprises : effets sur la productivité et les salaires, Economie & prévision, 187, 25-46.

AUTOR D. H. (2015), Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation, The Journal of Economic Perspectives, 29(3).

BALLOT G., FAKHFAKH F. ET E. TAYMAZ (2006), Who benefits from training and R&D, the firms or the workers?, British Journal of Industrial Relations, 44(3), 473-495.

BARRETT A. ET P. O'CONNELL (2001), Does training generally work? The returns to in-company training, Industrial and Labor Relations Review, 54(3), 647-683

BARTEL A. (2000), Measuring the Employer's Return on Investments in Training: Evidence from the Literature, Industrial Relations, 39(3), 502-524.

BILS M. ET P.J. KLENOW (1998), Does Schooling Cause Growth or the Other Way Around?", National Bureau of Economic Research (Cambridge, MA) Working Paper No. 6393.

BILS M. ET P.J. KLENOW (2000), Does Schooling Cause Growth?, American Economic Review, 90(5), 1160-1183.

BLACK S.E. ET L.M. LYNCH (1996), Human-Capital Investments and Productivity, American Economic Review, 86(2), 263-267.

CARRIOU Y. ET F. JEGER (1997), La Formation Continue Dans les Entreprises et son Retour sur Investissement, Economie et Statistique, 303, 45-58.

CHOCHARD Y. ET E. DAVOINE (2011), Variables influencing the return on investment in management training programs: a utility analysis of 10 Swiss cases, International Journal of Training and Development, 15(3), 225-243.

CHUSSEAU N. (2017), Quelles dynamiques sociales génèrent une société de la deuxième chance, Note TDTE. Chaire "Transitions démographiques, Transitions économiques".

CONSEIL D'ORIENTATION DE L'EMPLOI (2017), Automatisation, numérisation et emploi. Tome 1: Les impacts sur le volume, la structure et la localisation de l'emploi, Rapport du COE.

DEARDEN L., REED H. ET J. VAN REENEN (2006) The impact of training on productivity and wages: Evidence from British panel data, Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 68(4), 397-421.

DOMINGUES DOS SANTOS M. ET J. PELLETAN (2015), La formation des salariés est-elle adaptée à une durée d'activité plus longue ?, Rapport pour la Chaire TDTE.

FRANCE STRATEGIE (2016), L'effet de l'automatisation sur l'emploi : ce qu'on sait et ce qu'on ignore, Note d'analyse n°49, Juillet.

FREY C.B. ET M.A. OSBORNE (2017), The future of employment: How susceptible are jobs to com¬puterisation? Technological Forecasting and Social Change, 114(C), 254-280.

GOUX D. ET E. MAURIN (2000), Returns to firm-provided training: evidence from French worker–firm matched data, Labour economics, 7(1), 1-19.

LEUVEN E. (2004), A review of the wage returns to private sector training, Unpublished paper.

MINCER J. (1958), Investment in human capital and personal income distribution, Journal of political economy, 66(4), 281-302.

PSACHAROPOULOS G. (1994), Returns to investment in education: a global update, World Development, 22, 1325-1343.

ROLAND BERGER (2014), Les classes moyennes face à la transformation digitale, Think Act, Octobre.

Annexe - modélisation économique

I - Modèle de croissance avec financement par l'épargne

Principaux traits du modèle

Un modèle à générations imbriquées est construit. En t, la démographie des personnes encore vivantes et nées en b peut s'écrire en considérant une probabilité de décès exogène et constante par unité de temps, notée ρ : $\rho e^{-\rho(t-b)}$. La taille totale de la population est normalisée à 1. Les individus naissent sans patrimoine. Leur satisfaction est exclusivement dérivée de la consommation. Ils investissement alors dans l'éducation au début de la vie, puis travaillent. Leur salaire dépend linéairement du capital humain accumulé, avec une fonction qui peut s'écrire :

$$E = wh(s) \qquad (1)$$

où w est le taux de salaire par unité de capital humain. On écrit de manière classique $\ln(E) = \text{constante} + f(s)$, le capital humain pouvant alors être écrit sous la forme :

$$h = e^{f(s)} \qquad (2)$$

La fonction exponentielle est fondée sur la régression du logarithme des salaires individuels sur les années d'éducation. La spécification classique de **Mincer** (1974) laisse apparaitre un log des salaires linéairement lié aux années d'éducation. Dans le cas de rendements décroissants, on peut formuler des hypothèses standards sur la fonction f : $f_s > 0$ et $f_{ss} < 0$ (**Willis**, 1986).

En t_0, un choc non déterministe touche une fraction p de la population et le capital humain peut s'écrire pour cette population : $h = \mu e^{f(s)}$ pour $t > t_0$ avec $\mu \in [0,1]$. Nous étudions les équilibres stationnaires après le choc en prenant comme situation de référence celle où il n'est pas possible de se former de nouveau après le choc. Le moment de survenue du choc t_0 est réparti suivant une fonction de répartition au cours du temps de densité explicitée par la suite.

Dans la suite de cette version, on commencera par considérer la population touchée par ce choc. Puis on tiendra compte des deux populations : celle touchée par le choc et celle non touchée.

On considère deux cas possibles qui vont être comparés :

- *Il n'y a pas de formation possible après la formation initiale (de durée s) et le capital humain h prend au-delà du choc la valeur* $h = \mu e^{f(s)}$

- *Il y a une formation possible initiée à la suite du choc, avec une durée s'. La fonction permettant de transformer cette formation en capital humain est du type* $g(s')$*. La fonction g présente les mêmes caractéristiques que la fonction f :* $g_{s'} > 0$ *et* $g_{s's'} < 0$*. Le capital humain peut alors être écrit pour* $t > t_0 + s'$ *:* $h = \mu e^{f(s)+g(s')}$ *.*

Dans le cadre de ce modèle étendu, il est encore possible de régresser le logarithme des salaires sur les années d'éducation, que celle-ci soit initiale ou continue. Les rendements peuvent être évalués en se fondant sur la spécification de Mincer. S'il est impossible de se former de nouveau après le choc (situation de référence), alors $s' = 0$.

Maximisation individuelle

Chaque agent né en b optimise sa consommation intertemporelle, financée par le revenu intertemporel. L'utilité espérée liée à la consommation est maximisée, en prenant classiquement un taux de préférence pour le présent et en pondérant par la probabilité d'être toujours en vie à l'instant z :

$$\max \int_b^{\infty} \left[\ln\left(c(z)\right) e^{-(\theta+\rho)(z-b)} \right] dz \qquad (5)$$

L'accumulation des actifs pour $t > t_0$ se fait selon les mêmes modalités (au facteur de choc près) pour les individus touchés par le choc que pour ceux qui ne sont pas touchés :

• Pour ceux qui ne sont pas formés après la formation initiale :

$$\dot{k} = (r+\rho)k + \mu e^{f(s)} w - c \text{ sur } [t_0, +\infty[$$

La valeur initiale de est celle donnée par le processus d'accumulation avant le choc.

• Pour ceux qui peuvent être formés (c'est sur ce second cas que la résolution est ici proposée, dans la mesure où les individus non formés en formation continue correspondent au cas de base) :

$$\dot{k} = (r+\rho)k - c \text{ sur } [t_0, t_0 + s'[$$

$$\dot{k} = (r+\rho)k + \mu e^{f(s)+g(s')} w - c \text{ sur } [t_0 + s', +\infty[$$

La valeur initiale de $k(t_0)$ est celle donnée par le processus d'accumulation avant le choc.

$$k(t_0) = \frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s} e^{(r-\theta)(t_0-b)} - 1\right)$$

Par la suite, une seconde variante est considérée (Annexe 2) dans laquelle une part (ou l'intégralité) du salaire est conservée durant la formation (dans un premier temps, nous prenons uniquement en compte la possibilité de recevoir une seconde formation notable sans maintien du salaire durant la formation : le financement de la consommation individuelle pendant la période de formation est donc assuré par l'épargne).

Dans la version initiale, l'équation différentielle décrivant la consommation c est la suivante : $\frac{\dot{c}}{c} = r - \theta$

Que l'on peut résoudre de la manière suivante :

$$c(z) = c(t_0) e^{(r-\theta)(z-t_0)}$$

On peut alors résoudre l'équation différentielle portant sur l'accumulation des actifs pour obtenir le profil de k en prenant en compte la condition à la limite (en t_0) :

$$\dot{k} = (r+\rho)k - c \text{ sur} [t_0, t_0 + s'[$$

$$\dot{k} = (r+\rho)k + \mu e^{f(s)+g(s')} w - c \text{ sur} [t_0 + s', +\infty[$$

$$k(t_0) = \frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s} e^{(r-\theta)(t_0-b)} - 1\right)$$

$$k(z) = \frac{we^{f(s)} e^{(r+\rho)(z-t_0)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s} e^{(r-\theta)(t_0-b)} - 1\right) + \frac{c(t_0)}{\theta+\rho}\left(e^{(r-\theta)(z-t_0)} - e^{(r+\rho)(z-t_0)}\right) \text{ sur } [t_0, t_0 + s'[$$

Pour résoudre l'équation différentielle sur $[t_0 + s', +\infty[$ on utilise le fait que le capital est continu en $t_0 + s'$. On trouve :

$$k(z) = \frac{we^{f(s)} e^{(r+\rho)(z-t_0)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s} e^{(r-\theta)(t_0-b)} - 1\right) + \frac{c(t_0)}{\theta+\rho}\left(e^{(r-\theta)(z-t_0)} - e^{(r+\rho)(z-t_0)}\right) + \frac{\mu we^{f(s)+g(s')}}{r+\rho}\left(e^{(r+\rho)(z-t_0-s')} - 1\right)$$

sur $[t_0 + s', +\infty[$

La condition de transversalité s'exprime :

$$\lim_{z\to+\infty}\left[e^{-(r+\rho)z} k\right] = 0$$

Ce qui permet d'avoir la valeur suivante pour $c(t_0)$:

$$c(t_0) = \frac{\theta+\rho}{r+\rho}\left[we^{f(s)}\left(e^{-(r+\rho)s} e^{(r-\theta)(t_0-b)} - 1\right) + \mu we^{f(s)+g(s')} e^{-(r+\rho)s'}\right]$$

Chacun optimise la durée de formation initiale. A l'optimum, on a : $f_s = r + \rho$ et, s'il était possible d'optimiser la durée de formation continue, $g_{s'} = r + \rho$.

On peut achever la résolution, avec :

$$c(z) = c(t_0)e^{(r-\theta)(z-t_0)}$$

On obtient :

$$c(z) = \frac{\theta+\rho}{r+\rho}\left[we^{f(s)}e^{-(r+\rho)s}e^{(r-\theta)(z-b)} - we^{f(s)}e^{(r-\theta)(z-t_0)} + \mu we^{f(s)+g(s')}e^{-(r+\rho)s'}e^{(r-\theta)(z-t_0)}\right]$$

On peut ainsi avoir les valeurs suivantes pour le capital physique sur :

$$k(z) = \frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s}e^{(r-\theta)(z-b)} - e^{(r-\theta)(z-t_0)}\right) + \frac{\mu we^{f(s)+g(s')}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s'}e^{(r-\theta)(z-t_0)} - e^{(r+\rho)(z-t_0-s')}\right)$$

Et sur $[t_0+s',+\infty[$

$$k(z) = \frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s}e^{(r-\theta)(z-b)} - e^{(r-\theta)(z-t_0)}\right) + \frac{\mu we^{f(s)+g(s')}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s'}e^{(r-\theta)(z-t_0)} - 1\right)$$

Equilibre général et agrégation

L'agrégation se fait en deux étapes :

D'abord, en intégrant suivant les cohortes de naissance, puis en intégrant selon les temps où les chocs ont pu survenir.

Dans une première étape, on peut écrire :

$$K(z,t_0) = \int_{-\infty}^{z} k(b,z)\rho e^{-\rho(z-b)}db$$

$$C(z,t_0) = \int_{-\infty}^{z} c(b,z)\rho e^{-\rho(z-b)}db$$

$$H(z) = \int_{-\infty}^{z-s-s'} h(b,z)\rho e^{-\rho(z-b)}db$$

(on ne prend pas en compte le capital humain de ceux qui sont en formation initiale ou continue)

Avec les expressions données plus haut pour les résultats de maximisations individuelles :

$$H(z) = \int_{-\infty}^{z-s-s'} \mu\rho e^{f(s)+g(s')} e^{-\rho(z-b)} db$$

Soit encore :

$$H(z) = \mu e^{f(s)+g(s')} e^{-\rho(s+s')}$$

De la même manière, on trouve :

$$C(z,t_0) = \frac{\theta+\rho}{r+\rho} w \left[\frac{\rho e^{f(s)} e^{-(r+\rho)s}}{\rho - r + \theta} - e^{f(s)} e^{(r-\theta)(z-t_0)} + \mu e^{f(s)+g(s')} e^{-(r+\rho)s'} e^{(r-\theta)(z-t_0)} \right]$$

Enfin, en intégrant la fonction k selon ses deux modalités :

$$K(z,t_0) = \frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta} - e^{(r-\theta)(z-t_0)}\right) + \frac{\mu w e^{f(s)+g(s')}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s'} e^{(r-\theta)(z-t_0)} - e^{-\rho(s+s')} - e^{(r+\rho)(z-t_0-s')}\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)\right)$$

Dans un second temps, l'agrégation est menée en considérant une densité de répartition des chocs dans le temps (choc déjà survenu au moment z) : $\gamma e^{-\gamma(z-t_0)}$. La probabilité d'avoir subi un choc collectif en z est bien normalisée à 1 : $\int_{-\infty}^{z} \gamma e^{-\gamma(z-t_0)} dt_0 = 1$.

Par ailleurs, il est plus probable d'être affecté dans son capital humain par des chocs récents que des chocs anciens dans le temps (absorbés par l'économie). Sous ces hypothèses, il est alors possible d'écrire:

$$K(z) = \int_{-\infty}^{z} K(z,t_0) \gamma e^{-\gamma(z-t_0)} dt_0$$

$$C(z)=\int_{-\infty}^{z} C(z,t_0)\gamma e^{-\gamma(z-t_0)}dt_0$$

Et l'on a toujours :

$$H(z)=\mu e^{f(s)+g(s')}e^{-\rho(s+s')}$$

On trouve alors : $C(z)=\frac{\theta+\rho}{r+\rho}w\left[\frac{\rho e^{f(s)}e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}-\frac{\gamma e^{f(s)}}{\gamma-r+\theta}+\frac{\mu\gamma e^{f(s)+g(s')}e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r+\theta}\right]$

Soit encore : $C(z)=\frac{\theta+\rho}{r+\rho}we^{f(s)}\left[\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}-\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}+\frac{\mu\gamma e^{g(s')}e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r+\theta}\right]$

Enfin :

$$K(z)=\frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}-\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\right)+\frac{\mu we^{f(s)+g(s')}}{r+\rho}\left(\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r+\theta}-e^{-\rho(s+s')}-\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)}{\gamma-r-\rho}\right)$$

Par ailleurs, avec une fonction de production du type $Y=AK^{\alpha}H^{1-\alpha}$, le taux de salaire et le taux d'intérêt sont respectivement égaux au produit marginal du capital humain et du capital physique :

$$w=A(1-\alpha)\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha}$$

Et :

$$r=A\alpha\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha-1}$$

Equilibre stable et calibration

Il est possible de trouver dans les deux cas possibles (sans possibilité de formation continue, avec $s'=0$, ou avec une seconde période de formation) une unique valeur pour les variables endogènes r, K, H, C, w et s. Ces valeurs sont celles correspondant à un équilibre stable (valeurs constantes dans les temps).

Une spécification des fonctions f et g et une calibration des paramètres nous apporte des résultats numériques permettant de comparer les deux cas possibles (avec ou sans formation continue) notamment pour le stock agrégé de capital humain H, le stock de capital physique K et la production Y. De cette manière, il est possible d'évaluer le potentiel de croissance associé à une extension très volontariste de la formation continue.

Forme réduite

En écrivant K/H grâce à w/r et sa forme donnée précédemment, on peut rechercher une forme réduite pour résoudre en r :

$$\frac{K}{H}=\frac{w\alpha}{r(1-\alpha)}=\frac{1}{\mu e^{f(s)+g(s')}e^{-\rho(s+s')}}\left[\begin{array}{l}\dfrac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(\dfrac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}-\dfrac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\right)\\ +\dfrac{\mu we^{f(s)+g(s')}}{r+\rho}\left(\dfrac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r+\theta}-e^{-\rho(s+s')}-\dfrac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)}{\gamma-r-\rho}\right)\end{array}\right]$$

$$\frac{K}{H}=\frac{w\alpha}{r(1-\alpha)}=\frac{w}{\mu(r+\rho)}\left[\left(\frac{\rho e^{-rs+\rho s'-g(s')}}{\rho-r+\theta}-\frac{\gamma e^{\rho(s+s')-g(s')}}{\gamma-r+\theta}\right)\right]+\frac{w}{r+\rho}\left[\frac{\gamma e^{\rho s-rs'}}{\gamma-r+\theta}-1-\frac{\gamma\left(e^{\rho s-rs'}-e^{-(r+\rho)s'}\right)}{\gamma-r-\rho}\right]$$

Soit encore :

$$\frac{\alpha}{(1-\alpha)}=\frac{r}{\mu(r+\rho)}\left[\frac{\rho e^{-rs+\rho s'-g(s')}}{\rho-r+\theta}-\frac{\gamma e^{\rho(s+s')-g(s')}}{\gamma-r+\theta}\right]+\frac{r}{r+\rho}\left[\frac{\gamma e^{\rho s-rs'}}{\gamma-r+\theta}-1-\frac{\gamma\left(e^{\rho s-rs'}-e^{-(r+\rho)s'}\right)}{\gamma-r-\rho}\right]$$

D'après l'optimisation de la durée initiale de scolarité, on a $f_s=r+\rho$. La calibration de la fonction f puis de la fonction g est centrale pour achever la résolution. **Bils et Klenow** (1998 et 2000) postulent la forme suivante pour la fonction $f(s)$ (éducation initiale dépendant du temps passé à s'éduquer s) :

$$f(s)=\frac{\theta_f}{1-\Phi}s^{1-\Phi}$$

En utilisant des données de **Psacharopoulos** (1994) sur un échantillon de 56 pays, **Bils et Klenow** (1998 et 2000) ont régressé les estimations des rendements de **Mincer** sur les niveaux de scolarité des pays pour estimer les paramètres. Leurs estimations aboutissent aux paramètres suivants : $\Phi = 0.58$ et $\theta_f = 0.32$. Il est donc possible de réécrire la valeur optimale de formation initiale s :

$$s = \left(\frac{0,32}{r+\rho} \right)^{\frac{1}{0,58}}$$

L'équation ci-dessus ne dépend alors plus que de r et peut être résolue numériquement. La détermination des équilibres macroéconomiques suppose alors de connaitre également la fonction d'accumulation du capital humain durant la formation continue, soit la fonction g. Or, si la littérature est convergente sur la formation initiale, nous avons peu d'information sur les rendements de formation continue en termes de capital humain. Considérant les estimations de l'impact de la formation continue sur les salaires, il apparaît que les rendements de la formation ne sont pas aussi élevés que ceux de la formation initiale, ce qui correspond à un mode d'accumulation fondé sur $\theta_g < \theta_f$, soit encore $g(s) = \frac{\theta_g}{1-\Phi} s^{1-\Phi} < f(s) = \frac{\theta_f}{1-\Phi} s^{1-\Phi}$. Nous considérons que les rendements sont moitié moindres que ceux de la formation initiale : $\theta_g = 0.16$.

La valeur de r permet également de connaitre K/H selon l'expression

$$r = A\alpha \left(\frac{K}{H} \right)^{\alpha-1} .$$

Enfin, il est possible d'en déduire la valeur stationnaire de K puis de Y.

Equilibre mélangeant les populations touchées et non touchées par le choc

On suppose à présent un équilibre mélangeant entre une population touchée par le choc (en proportion p) dont les modes d'accumulation du capital humain, du capital et de consommation sont ceux vus précédemment, et une population (en proportion 1 – p) qui n'est pas touchée et a un mode simplifié d'accumulation et de consommation. Pour cette seconde population, nous avons les résultats suivants :

$$H(z) = e^{f(s)-\rho s}$$

Pour la consommation, s'il n'y a pas de choc – et pas de processus de formation complémentaire – on a l'agrégat suivant :

$$C(z)=\frac{\theta+\rho}{r+\rho}we^{f(s)}\left[\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}\right]$$

Enfin :

$$K(z)=\frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left[\left(\frac{\rho}{\rho-r+\theta}+\frac{\rho}{r}\right)e^{-(r+\rho)s}-\left(1+\frac{\rho}{r}\right)e^{-\rho s}\right]$$

Ainsi, de manière agrégée, nous avons :

$$H(z)=p\mu e^{f(s)+g(s')}e^{-\rho(s+s')}+(1-p)e^{f(s)-\rho s}=e^{f(s)-\rho s}\left(p\mu e^{g(s')-\rho s'}+(1-p)\right)$$

On trouve alors :

$$C(z)=\frac{\theta+\rho}{r+\rho}we^{f(s)}\left[\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}-p\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}+p\frac{\mu\gamma e^{g(s')}e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r+\theta}\right]$$

Enfin :

$$K(z)=\frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left[\left(\frac{\rho}{\rho-r+\theta}+(1-p)\frac{\rho}{r}\right)e^{-(r+\rho)s}-(1-p)\left(1+\frac{\rho}{r}\right)e^{-\rho s}-p\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\right]$$
$$+p\frac{\mu we^{f(s)+g(s')}}{r+\rho}\left[\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r+\theta}-e^{-\rho(s+s')}-\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)}{\gamma-r-\rho}\right]$$

Par ailleurs, avec une fonction de production du type $Y=AK^{\alpha}H^{1-\alpha}$, le taux de salaire et le taux d'intérêt sont respectivement égaux au produit marginal du capital humain et du capital physique :

$$w=A(1-\alpha)\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha}$$

Et :

$$r=A\alpha\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha-1}$$

On peut ainsi chercher la forme réduite, dans le cadre de cet équilibre mélangé :

$$\frac{K}{H}=\frac{w\alpha}{r(1-\alpha)}=\frac{1}{e^{f(s)-\rho s}\left(p\mu e^{g(s')-\rho s'}+(1-p)\right)}$$
$$\left\{\begin{aligned}&\frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left[\left(\frac{\rho}{\rho-r+\theta}+(1-p)\frac{\rho}{r}\right)e^{-(r+\rho)s}-(1-p)\left(1+\frac{\rho}{r}\right)e^{-\rho s}-p\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\right]\\&+p\frac{\mu we^{f(s)+g(s')}}{r+\rho}\left[\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r+\theta}-e^{-\rho(s+s')}-\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)}{\gamma-r-\rho}\right]\end{aligned}\right\}$$

Soit encore :

$$\frac{\alpha}{(1-\alpha)}=\frac{r}{e^{f(s)-\rho s}\left(p\mu e^{g(s')-\rho s'}+(1-p)\right)}$$
$$\left\{\begin{aligned}&\frac{e^{f(s)}}{r+\rho}\left[\left(\frac{\rho}{\rho-r+\theta}+(1-p)\frac{\rho}{r}\right)e^{-(r+\rho)s}-(1-p)\left(1+\frac{\rho}{r}\right)e^{-\rho s}-p\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\right]\\&+p\frac{\mu e^{f(s)+g(s')}}{r+\rho}\left[\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r+\theta}-e^{-\rho(s+s')}-\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)}{\gamma-r-\rho}\right]\end{aligned}\right\}$$

D'après l'optimisation de la durée initiale de scolarité, on a $f_s=r+\rho$ ce qui permet, là encore, d'avoir :

$$s=\left(\frac{0,32}{r+\rho}\right)^{\frac{1}{0,58}}$$

L'équation ci-dessus ne dépend alors plus que de r et peut être résolue numériquement. Nous obtenons ensuite s puis H. La valeur de r permet

également de connaitre K/H selon l'expression $r=A\alpha\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha-1}$.

Enfin, il est possible d'en déduire la valeur stationnaire de K puis de Y.

II - Modèle de croissance avec financement par l'impôt

Principaux traits du modèle modifié

Le programme de maximisation de l'utilité liée à la consommation se fait sous les mêmes modalités que dans le modèle de référence.

La valeur initiale de $k(t_0)$ est toujours celle donnée par le processus d'accumulation avant le choc.

$$k(t_0) = \frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s}e^{(r-\theta)(t_0-b)} - 1\right)$$

Ici, nous considérons que le salaire que l'agent aurait touché après le choc s'il ne se formait pas est entièrement conservé durant la formation. Dans cette seconde variante, nous avons alors le processus suivant d'accumulation des actifs :

$$\dot{k} = (r+\rho)k + \mu w(1-\tau)e^{f(s)} - c \text{ sur } [t_0, t_0+s'[$$

$$\dot{k} = (r+\rho)k + \mu w(1-\tau)e^{f(s)+g(s')} - c \text{ sur } [t_0+s', +\infty[$$

Où τ est le taux d'imposition sur les revenus du travail permettant par une surtaxe de financer le remplacement de salaire durant la période de formation. On considère que le coût de la formation elle-même est financé par ailleurs avec un système d'imposition qui n'est pas modélisé ici.

Dans la version initiale, l'équation différentielle décrivant la consommation c est identique à celle de l'article de référence :

Que l'on peut résoudre de la manière suivante : $\frac{\dot{c}}{c} = r - \theta$

$$c(z) = c(t_0)e^{(r-\theta)(z-t_0)}$$

On peut alors résoudre l'équation différentielle portant sur l'accumulation des actifs pour obtenir le profil de k en prenant en compte la condition à la limite (en t_0) :

$$k(z)=\frac{we^{f(s)}e^{(r+\rho)(z-t_0)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s}e^{(r-\theta)(t_0-b)}-1\right)+\frac{c(t_0)}{\theta+\rho}\left(e^{(r-\theta)(z-t_0)}-e^{(r+\rho)(z-t_0)}\right)$$
$$+\frac{\mu w(1-\tau)e^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{(r+\rho)(z-t_0)}-1\right)$$

sur $[t_0,t_0+s'[$

Pour résoudre l'équation différentielle sur $[t_0+s',+\infty[$ on utilise le fait que le capital est continu en t_0+s'. On trouve :

$$k(z)=\frac{we^{f(s)}e^{(r+\rho)(z-t_0)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s}e^{(r-\theta)(t_0-b)}-1\right)+\frac{c(t_0)}{\theta+\rho}\left(e^{(r-\theta)(z-t_0)}-e^{(r+\rho)(z-t_0)}\right)$$
$$+\frac{\mu w(1-\tau)e^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{g(s')}\left(e^{(r+\rho)(z-t_0-s')}-1\right)+\left(e^{(r+\rho)(z-t_0)}-e^{(r+\rho)(z-t_0-s')}\right)\right)$$

sur $[t_0+s',+\infty[$

La condition de transversalité s'exprime :

$$\lim_{z\to+\infty}\left[e^{-(r+\rho)z}k\right]=0$$

Ce qui permet d'avoir la valeur suivante pour $c(t_0)$:

$$c(t_0)=\frac{\theta+\rho}{r+\rho}\left[we^{f(s)}\left(e^{-(r+\rho)s}e^{(r-\theta)(t_0-b)}-1\right)+\mu w(1-\tau)e^{f(s)}\left(\left(1-e^{-(r+\rho)s'}\right)+e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right)\right]$$

Chacun optimise la durée de formation initiale. A l'optimum, on a, parce que l'agent ne connait pas encore le choc au moment où il se forme initialement : $f_s=r+\rho$ et, s'il était possible d'optimiser la durée de formation continue :

$$g_{s'}=(r+\rho)\left(e^{g(s')}-1\right)$$

On peut achever la résolution, avec :

$$c(z)=c(t_0)e^{(r-\theta)(z-t_0)}$$

On obtient :

$$c(z)=\frac{\theta+\rho}{r+\rho}\begin{bmatrix} we^{f(s)}e^{-(r+\rho)s}e^{(r-\theta)(z-b)}-we^{f(s)}e^{(r-\theta)(z-t_0)} \\ +\mu w(1-\tau)e^{(r-\theta)(z-t_0)}e^{f(s)}\left(\left(1-e^{-(r+\rho)s'}\right)+e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right)\end{bmatrix}$$

On peut ainsi avoir les valeurs suivantes pour le capital physique sur $[t_0,t_0+s'[$:

$$k(z)=\frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s}e^{(r-\theta)(z-b)}-e^{(r-\theta)(z-t_0)}\right)$$
$$+\frac{\mu w(1-\tau)e^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{(r-\theta)(z-t_0)}-1+e^{-(r+\rho)s'}\left(e^{g(s')}-1\right)\left(e^{(r-\theta)(z-t_0)}-e^{(r+\rho)(z-t_0)}\right)\right)$$

Et sur $[t_0+s',+\infty[$

$$k(z)=\frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{-(r+\rho)s}e^{(r-\theta)(z-b)}-e^{(r-\theta)(z-t_0)}\right)$$
$$+\frac{\mu w(1-\tau)e^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{(r-\theta)(z-t_0)}\left(1-e^{-(r+\rho)s'}\right)+e^{g(s')}\left(e^{(r-\theta)(z-t_0)}e^{-(r+\rho)s'}-1\right)\right)$$

Equilibre général et agrégation

L'agrégation se fait en deux étapes :

D'abord, en intégrant suivant les cohortes de naissance, puis en intégrant selon les temps où les chocs ont pu survenir.

Dans une première étape, on peut écrire :

$$K(z,t_0)=\int_{-\infty}^{z} k(b,z)\,\rho e^{-\rho(z-b)}\,db$$

$$C(z,t_0)=\int_{-\infty}^{z} c(b,z)\,\rho e^{-\rho(z-b)}\,db$$

$$H(z)=\int_{-\infty}^{z-s-s'} h(b,z)\,\rho e^{-\rho(z-b)}\,db$$

(on ne prend pas en compte le capital humain de ceux qui sont en formation initiale ou continue)

Avec les expressions données plus haut pour les résultats de maximisations individuelles :

$$H(z)=\int_{-\infty}^{z-s-s'} \mu\rho e^{f(s)+g(s')}e^{-\rho(z-b)}\,db$$

Soit encore :

$$H(z)=\mu e^{f(s)+g(s')}e^{-\rho(s+s')}$$

De la même manière, on trouve :

$$C(z,t_0)=\frac{\theta+\rho}{r+\rho}w\left[\frac{\rho e^{f(s)}e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}-e^{f(s)}e^{(r-\theta)(z-t_0)}+\mu(1-\tau)e^{(r-\theta)(z-t_0)}e^{f(s)}\left(1-e^{-(r+\rho)s'}+e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right)\right]$$

Enfin, en intégrant la fonction k selon ses deux modalités :

$$K(z,t_0)=\frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}-e^{(r-\theta)(z-t_0)}\right)$$
$$+\frac{\mu w(1-\tau)e^{f(s)}}{r+\rho}\left(e^{(r-\theta)(z-t_0)}\left(1-e^{-(r+\rho)s'}+e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right)-e^{g(s')-\rho(s+s')}-\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)\left(1+e^{(r+\rho)(z-t_0-s')}\left(e^{g(s')}-1\right)\right)\right)$$

Dans un second temps, l'agrégation est menée en considérant une densité de répartition des chocs dans le temps (choc déjà survenu au moment z) : $\gamma e^{-\gamma(z-t_0)}$. La probabilité d'avoir subi un choc collectif en z est bien normalisée à 1 : $\int_{-\infty}^{z} \gamma e^{-\gamma(z-t_0)} dt_0 = 1$.

Par ailleurs, il est plus probable d'être affecté dans son capital humain par des chocs récents que des chocs anciens dans le temps (absorbés par l'économie). Sous ces hypothèses, il est alors possible d'écrire:

$$K(z) = \int_{-\infty}^{z} K(z,t_0)\gamma e^{-\gamma(z-t_0)} dt_0$$

$$C(z) = \int_{-\infty}^{z} C(z,t_0)\gamma e^{-\gamma(z-t_0)} dt_0$$

Et l'on a toujours :

$$H(z) = \mu e^{f(s)+g(s')} e^{-\rho(s+s')}$$

On trouve alors :

$$C(z) = \frac{\theta+\rho}{r+\rho} w e^{f(s)} \left[\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho - r + \theta} - \frac{\gamma}{\gamma - r + \theta} + \frac{\mu(1-\tau)\gamma}{\gamma - r + \theta} \left(1 - e^{-(r+\rho)s'} + e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right) \right]$$

Enfin :

$$K(z) = \frac{w e^{f(s)}}{r+\rho} \left(\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho - r + \theta} - \frac{\gamma}{\gamma - r + \theta} \right)$$
$$+ \frac{\mu w(1-\tau) e^{f(s)}}{r+\rho} \left(\frac{\gamma}{\gamma - r + \theta} \left(1 - e^{-(r+\rho)s'} + e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right) - e^{g(s')-\rho(s+s')} - \left(1 - e^{-\rho(s+s')}\right) \left(1 + \frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma - r - \rho} \left(e^{g(s')} - 1\right)\right) \right)$$

Par ailleurs, avec une fonction de production du type $Y = AK^{\alpha} H^{1-\alpha}$, le taux de salaire et le taux d'intérêt sont respectivement égaux au produit marginal du capital humain et du capital physique :

$$w = A(1-\alpha)\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha}$$

Et :

$$r = A\alpha\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha-1}$$

Equilibre stable et calibration

Comme dans le modèle initial, il est possible de trouver dans les deux cas possibles (sans possibilité de formation continue, avec $s'=0$, ou avec une seconde période de formation) une unique valeur pour les variables endogènes r, K, H, C, w et s. Ces valeurs sont celles correspondant à un équilibre stable (valeurs constantes dans les temps).

Une spécification des fonctions f et g et une calibration des paramètres nous apporte des résultats numériques permettant de comparer les deux cas possibles (avec ou sans formation continue) notamment pour le stock agrégé de capital humain H , le stock de capital physique K et la production. De cette manière, il est possible d'évaluer le potentiel de croissance associé à une extension très volontariste de la formation continue.

Forme réduite

En écrivant K/H grâce à w/r et sa forme donnée précédemment, on peut rechercher une forme réduite pour résoudre en r :

$$\frac{K}{H} = \frac{w\alpha}{r(1-\alpha)} = \frac{1}{\mu e^{f(s)+g(s')}e^{-\rho(s+s')}}\left[\begin{array}{l}\dfrac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left(\dfrac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}-\dfrac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\right)\\[2ex] +\dfrac{\mu w(1-\tau)e^{f(s)}}{r+\rho}\left(\begin{array}{l}\dfrac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\left(1-e^{-(r+\rho)s'}+e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right)\\[2ex] -e^{g(s')-\rho(s+s')}-\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)\left(1+\dfrac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r-\rho}\left(e^{g(s')}-1\right)\right)\end{array}\right)\end{array}\right]$$

Soit encore :

$$\frac{\alpha}{(1-\alpha)}=\frac{r}{\mu e^{f(s)+g(s')}e^{-\rho(s+s')}}\left[\begin{array}{l}\frac{e^{f(s)}}{r+\rho}\left(\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}-\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\right)\\+\frac{\mu(1-\tau)e^{f(s)}}{r+\rho}\left(\begin{array}{l}\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\left(1-e^{-(r+\rho)s'}+e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right)\\-e^{g(s')-\rho(s+s')}-\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)\left(1+\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r-\rho}\left(e^{g(s')}-1\right)\right)\end{array}\right)\end{array}\right]$$

D'après l'optimisation de la durée initiale de scolarité, on a $f_s=r+\rho$ ce qui permet d'avoir :

$$s=\left(\frac{0,32}{r+\rho}\right)^{\frac{1}{0,58}}$$

L'équation ci-dessus ne dépend alors plus que de r et peut être résolue numériquement. Nous obtenons ensuite s puis H. La valeur de r permet également de connaitre K/H selon l'expression $r=A\alpha\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha-1}$.

Enfin, il est possible d'en déduire la valeur stationnaire de K puis de Y.

Equilibre mélangeant les populations touchées et non touchées par le choc

On suppose à présent un équilibre mélangeant entre une population touchée par le choc (en proportion p) dont les modes d'accumulation du capital humain, du capital et de consommation sont ceux vus précédemment, et une population (en proportion 1 – p) qui n'est pas touchée et a un mode simplifié d'accumulation et de consommation. Pour cette seconde population, nous avons les résultats suivants :

$$H(z)=e^{f(s)-\rho s}$$

Pour la consommation, s'il n'y a pas de choc – et pas de processus de formation complémentaire – on a l'agrégat suivant :

$$C(z)=\frac{\theta+\rho}{r+\rho}we^{f(s)}\left[\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}\right]$$

Enfin :

$$K(z)=\frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left[\left(\frac{\rho}{\rho-r+\theta}+\frac{\rho}{r}\right)e^{-(r+\rho)s}-\left(1+\frac{\rho}{r}\right)e^{-\rho s}\right]$$

Ainsi, de manière agrégée, nous avons :

$$H(z)=p\mu e^{f(s)+g(s')}e^{-\rho(s+s')}+(1-p)e^{f(s)-\rho s}=e^{f(s)-\rho s}\left(p\mu e^{g(s')-\rho s'}+(1-p)\right)$$

On trouve alors :

$$C(z)=\frac{\theta+\rho}{r+\rho}we^{f(s)}\left[\frac{\rho e^{-(r+\rho)s}}{\rho-r+\theta}-p\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}+p\frac{\mu(1-\tau)\gamma}{\gamma-r+\theta}\left(1-e^{-(r+\rho)s'}+e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right)\right]$$

Enfin :

$$K(z)=\frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left[\left(\frac{\rho}{\rho-r+\theta}+(1-p)\frac{\rho}{r}\right)e^{-(r+\rho)s}-(1-p)\left(1+\frac{\rho}{r}\right)e^{-\rho s}-p\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\right]$$
$$+p\frac{\mu w(1-\tau)e^{f(s)}}{r+\rho}\left(\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\left(1-e^{-(r+\rho)s'}+e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right)-e^{g(s')-\rho(s+s')}-\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)\left(1+\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r-\rho}\left(e^{g(s')}-1\right)\right)\right)$$

Par ailleurs, avec une fonction de production du type $Y=AK^{\alpha}H^{1-\alpha}$, le taux de salaire et le taux d'intérêt sont respectivement égaux au produit marginal du capital humain et du capital physique :

$$w=A(1-\alpha)\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha}$$

Et :

$$r=A\alpha\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha-1}$$

On peut ainsi chercher la forme réduite, dans le cadre de cet équilibre mélangé :

$$\frac{K}{H}=\frac{w\alpha}{r(1-\alpha)}=\frac{1}{e^{f(s)-\rho s}\left(p\mu e^{g(s')-\rho s'}+(1-p)\right)}$$

$$\left\{\begin{array}{l}\frac{we^{f(s)}}{r+\rho}\left[\left(\frac{\rho}{\rho-r+\theta}+(1-p)\frac{\rho}{r}\right)e^{-(r+\rho)s}-(1-p)\left(1+\frac{\rho}{r}\right)e^{-\rho s}-p\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\right] \\ +p\frac{\mu w(1-\tau)e^{f(s)}}{r+\rho}\left(\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\left(1-e^{-(r+\rho)s'}+e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right)-e^{g(s')-\rho(s+s')}-\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)\left(1+\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r-\rho}\left(e^{g(s')}-1\right)\right)\right)\end{array}\right\}$$

Soit encore :

$$\frac{\alpha}{(1-\alpha)}=\frac{r}{e^{-\rho s}\left(p\mu e^{g(s')-\rho s'}+(1-p)\right)}$$

$$\left\{\begin{array}{l}\frac{1}{r+\rho}\left[\left(\frac{\rho}{\rho-r+\theta}+(1-p)\frac{\rho}{r}\right)e^{-(r+\rho)s}-(1-p)\left(1+\frac{\rho}{r}\right)e^{-\rho s}-p\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\right] \\ +p\frac{\mu(1-\tau)}{r+\rho}\left(\frac{\gamma}{\gamma-r+\theta}\left(1-e^{-(r+\rho)s'}+e^{g(s')-(r+\rho)s'}\right)-e^{g(s')-\rho(s+s')}-\left(1-e^{-\rho(s+s')}\right)\left(1+\frac{\gamma e^{-(r+\rho)s'}}{\gamma-r-\rho}\left(e^{g(s')}-1\right)\right)\right)\end{array}\right\}$$

D’après l’optimisation de la durée initiale de scolarité, on a $f_s = r + \rho$ ce qui permet d’avoir : $s=\left(\frac{0{,}32}{r+\rho}\right)^{\frac{1}{0{,}58}}$

Dans cette version du modèle où le remplacement du salaire est assuré par une surtaxe additionnelle, il reste à déterminer la valeur du paramètre τ pesant sur les revenus du travail pour équilibrer les salaires versés. Nous avons alors l’équation d’équilibre des finances publiques suivante (le reste du système fiscal permettant notamment de payer les coûts de formation est considéré à l’équilibre) :

$$\tau wH = p\mu we^{f(s)}$$

On considère alors que le salaire remplacé pour la partie p de la population est celui en vigueur juste après le choc. Cette équation devient :

$$\tau w e^{f(s)-\rho s}\left(p\mu e^{g(s')-\rho s'}+(1-p)\right)=p\mu w e^{f(s)}$$

Soit encore : $\tau=\dfrac{p\mu}{e^{-\rho s}\left(p\mu e^{g(s')-\rho s'}+(1-p)\right)}$

L'équation ne dépend alors plus que de r et peut être résolue numériquement. Nous obtenons ensuite s puis H. La valeur de r permet également de connaitre K/H selon l'expression $r=A\alpha\left(\dfrac{K}{H}\right)^{\alpha-1}$.

Enfin, il est possible d'en déduire la valeur stationnaire de K puis de Y.