

# Un modèle multi-agents du marché du travail français, outil d'évaluation des politiques de l'emploi. L'exemple du contrat de génération

Gérard Ballot<sup>1,2,3</sup>, Jean-Daniel Kant<sup>4,5</sup>, and Olivier Goudet<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Université Paris 2

<sup>2</sup>CRED EA-7321

<sup>3</sup>TEPP FR CNRS 3435

<sup>4</sup>Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, UMR 7606, LIP6, F-75005, Paris, France

<sup>5</sup>CNRS, UMR 7606, LIP6, F-75005, Paris, France

## Résumé

Cet article présente un modèle multi-agents du marché du travail français et l'utilise pour analyser les effets du contrat de génération, simulés *ex-ante*. Notre approche consiste à produire un modèle computationnel des décisions et des interactions des individus et des entreprises (10 000 agents dans nos simulations), dans le cadre d'un environnement économique et juridique spécifié. Les décisions consistent pour les entreprises à créer ou supprimer des emplois de type CDD et CDI, en réponse à des chocs individuels, ainsi qu'à embaucher, promouvoir et licencier leurs salariés. Les individus candidatent aux emplois, et peuvent démissionner, soit pour un autre emploi, soit pour abandonner l'activité. Les interactions engendrent les flux bruts entre les états de salarié, chômeur et inactif, formant une comptabilité stock-flux complète. Un algorithme de calibrage permet de reproduire les principales caractéristiques du marché du travail français en 2011. La coexistence de CDI et de CDD structure profondément le fonctionnement du marché, car si des jeunes utilisent les CDD pour s'insérer dans des CDI, d'autres alternent entre CDD et chômage, et cette mobilité subsiste à l'âge adulte.

Le Contrat de Génération (CG) vise à faciliter la création de CDI pour les jeunes ainsi qu'à développer leurs compétences par la transmission de savoir de la part de seniors dont le maintien dans l'emploi est simultanément encouragé. L'effet d'insertion des jeunes est vérifié dans le modèle, mais cet effet est fort modeste du fait d'effets d'aubaine très importants ainsi que d'effets d'éviction modérés. Le coût par chômeur évité apparaît inférieur à celui des allègements de charge. L'article étudie enfin les trajectoires des jeunes qui ont bénéficié du CG et montre un effet positif sur un terme long. Des variantes montrent qu'il n'est pas aisé d'améliorer le dispositif. Les résultats chiffrés doivent naturellement être considérés avec prudence et le modèle vise d'abord à clarifier l'analyse des nombreuses interactions en œuvre.

# INTRODUCTION

Le modèle WorkSim est un outil d'analyse basé sur la méthodologie multi-agents ou ACE (*Agent-Based Computational Economics (Tsfatsion, 2002)*), et est conçu pour simuler le marché du travail français récent. Le premier objectif du modèle est de reproduire le fonctionnement du marché au niveau agrégé et au niveau des principales catégories de main-d'œuvre, sur la base des décisions des différents agents, entreprises et individus, les décisions reposant sur des critères rationnels. Ces agents sont hétérogènes et interagissent entre eux. Le second objectif est de simuler des politiques du marché du travail avec une certaine précision institutionnelle et en tenant compte notamment des effets d'éviction probables et non linéaires, ce qui est une contribution par rapport aux techniques microéconométriques qui ne se prêtent pas à ce type d'analyse. Notre modèle s'inscrit aussi dans la démarche de la microsimulation initiée par Orcutt (Orcutt, 1957), dans la mesure où il se situe à une échelle de 1/4700 ème pour les individus, que l'on utilise des données nombreuses pour les initialisations, un détail institutionnel assez minutieux, et un grand nombre d'agents (de l'ordre de 10 000). Enfin il est calibré par un algorithme puissant afin de reproduire un certain nombre de variables cibles du marché du travail récent.

Les résultats du modèle se présentent sous la forme d'une comptabilité des flux bruts des individus entre les principaux états, emploi (avec la distinction CDI-CDD), chômage et inactivité, permettant de calculer un grand nombre de taux de mobilité. On peut caractériser ainsi le marché du travail de manière beaucoup plus fine qu'en examinant seulement des matrices de transition entre des dates relativement éloignées telles que celles issues de l'enquête Emploi. Ces dernières sous estiment les flux, alors que chaque unité dans un flux est associée à une décision qui prend en compte un coût qui lui est lié. Les coûts d'embauche comme les coûts de licenciement sont ainsi liés aux flux correspondants. Le marché du travail est constitué par ces flux bruts et leurs déterminants, ce qui en fait un objet extrêmement complexe, et surtout la nature de son fonctionnement nous paraît dépendre des interactions de nombreuses caractéristiques ; c'est du moins notre hypothèse de départ. Le processus de développement d'un tel modèle est modulable, à l'aide de versions successives qui permettent d'analyser un certain nombre de phénomènes, mais pas d'autres plus complexes ou plus désagrégés.

La version présentée ici a pour objectif d'analyser une politique de l'emploi, le contrat de génération (CG). Le CG est un contrat de type CDI mais aidé. L'élément essentiel est que l'employeur reçoit une prime de 4000 euros par an jusqu'à 3 ans s'il recrute un jeune en chômage ou CDD et maintient un senior en emploi (des éléments subsidiaires seront présentés lors de description approfondie du CG). Le choix du CG a été fait parce qu'il est un outil nouveau parmi les politiques de l'emploi, et que la technique de modélisation permet précisément d'en saisir les éléments complexes au niveau microéconomique où les décisions sont prises. Notamment il prévoit un tutorat et donc la transmission de capital humain du senior au junior. De plus le modèle permet une analyse longitudinale des effets sur des cohortes bénéficiant ou non de ce CG, et les effets d'éviction sont évalués. Enfin le CG n'a pas fait l'objet d'analyse antérieure dans le cadre d'un marché du travail formalisé et permettant une telle analyse. Nous devons donc présenter de manière relativement détaillé le modèle dans le cadre duquel on introduit le CG, car sa structure éclaire les effets du CG. Le calibrage du modèle avant l'introduction du CG permet de s'assurer d'une reproduction correcte des principaux flux et stocks observés, et des caractéristiques importantes du marché français, comme le dualisme. Il convient de préciser la portée de l'exercice de modélisation réalisé ici. Le CG n'a été voté qu'en Mars 2013, pour une durée de 5 ans, mais avec une mise en place très progressive des accords nécessaires pour les entreprises de 50 salariés et plus, et des modifications subsidiaires par une loi du 5 Mars 2014 et un décret du 12 Septembre 2014. L'article est donc une analyse ex ante des effets à attendre de la loi initiale sur une telle durée. Le modèle prédit un recours des employeurs qui atteint le plafond de financement octroyé par l'Etat à savoir 100 000 embauches par an, recours motivé en grande partie par des effets d'aubaine. En dépit de ce recours maximal il prédit des effets très faibles sur le chômage des jeunes, et encore plus faibles

sur le chômage des seniors, de l'ordre d'une fraction de point de chômage. L'expérience sur la première année de mise en oeuvre, même s'il faut tenir compte de raisons institutionnelles pour une montée progressive en puissance, montrent un recours beaucoup plus faible (moins du tiers du plafond), qui paraît motivé par des lourdeurs administratives ainsi qu'un refus d'engagement sur des CDI de la part des employeurs dans la conjoncture de la crise, facteurs qu'il eût été difficiles de modéliser. Les résultats chiffrés dans le modèle doivent être considérés comme l'effet maximal auquel il fallait s'attendre lors du vote de la loi sur le CG. La faiblesse de cet effet prédit dans ce cas de recours maximal constitue le résultat de l'exercice et peut être expliqué avec précision par les interactions sur un marché du travail modélisé assez finement. La simulation d'une politique d'allègements de charge fournit un élément de comparaison de coût-bénéfice avec le CG dans le cadre du modèle, et avec d'autres travaux existants. Au delà l'exercice présenté, l'article montre les apports méthodologiques du modèle pour la simulation de politiques de l'emploi.

WorkSim<sup>1</sup> modélise le marché du travail à partir des décisions de firmes individualisées qui comportent chacune des emplois également individualisés, mais aussi des décisions d'individus hétérogènes appartenant à des ménages, et la démographie comme les trajectoires longitudinales des individus sont simulées, ce qui permet de prendre en compte l'effet du passé sur les événements qu'ils subissent et sur les décisions qu'ils prennent.

WorkSim repose sur les décisions rationnelles des agents en matière de mobilité (en rationalité limitée), et non sur des transitions stochastiques, et utilise un fondement commun pour les prises de décisions. Il s'agit du concept de recherche ("search" en anglais) dont l'ouvrage dirigé par Phelps (Phelps, 1970) a constitué un jalon particulièrement important. Le concept de recherche donne sa cohérence intellectuelle au modèle, mais il convient d'explicitier l'usage qui en est fait, car la référence au concept de recherche suscite parfois des interprétations erronées en économie du travail. La théorie de la recherche sur le marché du travail a été initiée par Stigler (Stigler, 1962) pour rendre compte, pour un travailleur, de sa décision de candidater à un emploi offert ou de chercher plus longtemps en espérant trouver un emploi plus intéressant, à l'aide d'un arbitrage fondé sur le calcul économique en termes de revenu ou d'utilité. Ce comportement actif de recherche est constitutif de l'état de chômeur par opposition à celui d'inactif, et correspond à la définition du BIT. Il nous est nécessaire à ce second titre pour distinguer chômeurs et inactifs dans le modèle, sur un critère de comportement. Cependant une interprétation très restrictive a pu conduire à caractériser le temps de chômage ainsi consacré à la recherche d'un emploi de chômage de recherche volontaire. L'intérêt du concept est beaucoup plus large et WorkSim déploie une version du concept de base étendue dans trois directions, pour construire une analyse générale des mobilités.

*En premier lieu* la recherche est également pratiquée par les entreprises qui cherchent des salariés qui sont bien placés dans la distribution de la productivité. Une entreprise peut ainsi préférer garder vacant un emploi plutôt que d'embaucher un candidat jugé insuffisamment productif. Ce désir est contrebalancé par les coûts engendrés par la vacance d'un emploi et la poursuite du processus de recrutement. La firme fixe donc une norme d'embauche qui lui procure des gains nets satisfaisants. De plus, et ceci est très important pour évaluer les politiques de l'emploi, l'entreprise peut juger que le total des coûts estimés est trop élevé pour rendre le poste profitable et le supprime alors.

*En second lieu*, le concept de recherche, reposant sur des calculs de coûts et gains espérés, permet de rendre compte d'un grand nombre de décisions de mobilité : démissions avec changement d'emploi ou vers le chômage, début de recherche ou abandon de recherche d'un emploi par un chômeur (passage de l'inactivité au chômage et l'inverse) ou un salarié (décision de chercher un autre emploi tout en restant temporairement dans l'emploi actuel). Côté entreprises, les décisions concernent les fins de contrat (fin de période d'essai, licenciements, non renouvellement de CDD...). Quant aux flux d'embauche ils résultent de décisions séquentielles : des individus candidatent à un emploi vacant. L'entreprise

---

1. La version du modèle présentée est une version profondément modifiée d'une version préliminaire (Lewkovicz, Z., Domingue, D. et Kant, J-D., 2009).

sélectionne celui qui est estimé le plus profitable et juge s'il passe la norme d'embauche. Dans ce second cas elle l'embauche. La représentation du recrutement est ainsi beaucoup mieux microfondée et plus réaliste que dans les modèles d'appariement (à la Mortensen et Pissarides (Mortensen and Pissarides, 1994)) qui supposent une fonction agrégée dont la stabilité n'est pas assurée face à de larges changements institutionnels ou macroéconomiques. Ici l'embauche repose sur les décisions microéconomiques des agents hétérogènes des deux types, ce qui permet de rendre compte notamment des effets d'éviction qui sont souvent très importants sur le marché du travail et en matière de politique de l'emploi<sup>2</sup>. Ces flux sont complétés par des flux démographiques fondés sur les statistiques disponibles. Le modèle peut ainsi engendrer l'ensemble des flux du marché du travail dans le cadre d'une comptabilité stock-flux des individus.

*En troisième lieu, le modèle intègre des caractéristiques Keynésiennes.* Nous supposons dans la présente version du modèle que les salaires nominaux (et réels) sont rigides face à la tension sur le marché du travail. Cette hypothèse se justifie par le fait qu'on se situe dans un état stationnaire et que le programme sur le CG même dans les cas les plus optimistes n'est pas de nature à changer fortement la tension sur le marché du travail. Par ailleurs ceci est cohérent avec le fait que les entreprises diffusent les annonces d'emploi dans le modèle avec un salaire nominal de base affiché. Les modèles d'appariement n'intègrent souvent pas ces rigidités, supposant qu'une entreprise n'a qu'un salarié, et modélisent une négociation.

De plus, la distinction choc de productivité/choc de demande n'existe pas non plus dans la plupart des modèles de recherche. Dans WorkSim les chocs de demande à la firme expliquent les non renouvellement de contrats temporaires, les licenciements économiques, et les créations d'emploi. Pour la productivité nous introduisons non des chocs exogènes mais des modifications de productivité dues à l'expérience ou des modifications d'information sur la productivité qui expliquent les licenciements pour motif personnel, les promotions et certaines embauches.

Une différence essentielle entre WorkSim et les modèles de recherche analytiques repose sur le concept de rationalité limitée de Simon (Simon, 1955) pour modéliser les règles de décision. Une première raison du non recours à l'optimisation par les méthodes de programmation dynamique habituelles de Bellman en théorie de la recherche réside dans l'impossibilité de résoudre analytiquement un modèle à états multiples avec des agents hétérogènes et concurrents. Une seconde raison est que ni les firmes ni les individus ne font des calculs aussi complexes *et* qu'il est possible de modéliser des règles plus simples sans faire commettre aux agents des erreurs systématiques dans le temps. L'ajout très important du modèle en matière de comportement est en effet d'instancier le principe de rationalité limitée de manière efficiente, en permettant aux agents de réviser leurs décisions à la lumière de leur expérience et par collecte d'information. Cet apprentissage continu est très cohérent avec le concept de recherche.

Les règles de décision dans WorkSim consistent donc dans des seuils, ou règles dites de *satisficing*, dont les déterminants se trouvent dans les mêmes variables économiques que dans les modèles analytiques. Il reste à fixer les paramètres de ces règles et des processus de révision. Ceux-ci sont obtenus par calibrage du modèle.

Le modèle WorkSim s'inscrit dans une courte tradition de modèles multi-agents aussi détaillés du marché du travail. Il n'existe guère de modèles détaillés pour les pays étrangers<sup>3</sup>. Deux modèles pour la France ont ouvert la voie. Le modèle ARTEMIS (Ballot, 1981; Ballot, 1988; Ballot, 2002) a inspiré le modèle WorkSim qui partage un nombre important de ses caractéristiques. ARTEMIS utilise également des règles de rationalité limitée fondées sur la théorie de la recherche. C'est aussi un modèle des flux bruts entre les principaux états, en l'occurrence, outre le chômage et l'inactivité, trois types d'emploi. Il met l'accent sur le rôle de la dualité des types de gestion de main-d'œuvre entre les firmes, dans la ligne de Doeringer et Piore (Doeringer and Piore, 1985), certaines investissant dans

---

2. Pour une démonstration du biais introduit par une fonction d'appariement suite à une politique d'emploi, voir Neugart (2008) (Neugart, 2008)

3. Voir (Neugart and Richiardi, 2012) pour une revue.

leur personnel, avec une sélection forte à l'entrée, une formation et des possibilités de promotion (les marchés internes), d'autres offrant certes des CDI mais sans souci d'intégration (gestion dite secondaire). En outre les firmes peuvent recourir au travail intérimaire, ce qui introduit un intermédiaire avec des caractéristiques spécifiques sur le marché, en particulier des contrats très courts, mais aussi une moindre exigence que pour l'embauche dans des CDI. Le modèle montre que les catégories de main-d'œuvre ont des schémas de mobilité modérément différents en période de tension haute (chômage faible avant la crise), mais que ces schémas peuvent diverger brutalement sous l'effet d'un choc exogène de demande, du fait de forts effets d'éviction qui sont hautement non linéaires par rapport au choc. En l'occurrence, selon le modèle, le choc pétrolier de 1973-4 installe véritablement la segmentation sur le marché du travail français alors que celle-ci était marginale auparavant. Il montre aussi que l'intérim permet aux jeunes d'acquérir de l'expérience professionnelle pour s'intégrer ensuite dans les marchés internes, et que cet effet "tremplin" l'emporte fortement en termes de taux de chômage (et d'emploi) sur le rôle précarisant des emplois intérimaires. Le présent article étudiera la question du rôle éventuel de tremplin du CG pour ses bénéficiaires.

Le second modèle est celui de Barlet, Blanchet et Le Barbanchon (Barlet, M., Blanchet, D. et Le Barbanchon, T., 2009) (BBLB par la suite). Ceux-ci proposent un modèle ACE pour simuler l'année 2006. Ce modèle distingue des individus et des emplois (mais pas des entreprises). Il est assez simplifié au niveau des comportements mais utilise une procédure de calibrage élaborée en plusieurs étapes. Les différences majeures entre BBLB et WorkSim se situent au niveau de la modélisation des flux. BBLB ne prennent pas en compte les inactifs, et le processus d'embauche se fait par une fonction d'appariement. Les démissions sont exogènes, et les fins de CDD aléatoires, avec trois sorties alternatives supposées de même ampleur : séparation, renouvellement, titularisation sur un CDI. Une différence essentielle en matière de flux et de contrats entre les deux modèles est que le pas est annuel dans BBLB, alors que pour WorkSim le pas a été choisi pour correspondre aux plus courts CDD, soit une semaine. Enfin le modèle BBLB a pour apport d'analyser assez finement les effets d'une augmentation du salaire minimum ainsi que ceux d'allègements de charge, en prenant en compte la distribution des salaires, ce qui entraîne des effets non linéaires difficiles à étudier par d'autres méthodes.

Le plan de la suite du papier sera donc le suivant. On exposera d'abord la structure du modèle puis le cycle des décisions et les calculs économiques des agents qui déterminent ces décisions. La partie suivante porte sur le calibrage et la caractérisation du marché du travail français global et pour les catégories de main-d'œuvre en fonction de l'âge. Enfin on présente une évaluation ex ante de l'impact du CG et on explore des variantes. Une dernière partie conclue.

## STRUCTURE DU MODELE WORKSIM

### Les agents et les institutions dans WorkSim

WorkSim comporte *deux types d'agents* : des *entreprises* privées et des *individus*. Les agents *entreprises privées* correspondent à une mise à l'échelle du secteur privé français en 2011<sup>4</sup>(voir plus loin pour le détail de cette mise à l'échelle).

Les agents *individus* de la simulation correspondent à une mise à l'échelle de la population française âgée de 15 à 65 ans en 2011, selon la démographie de l'année. Ces agents individus sont regroupés dans des ménages et la simulation évolue en population fermée<sup>5</sup>. Les individus âgés de moins de 15 ans ou de plus de 65 ans sont intégrés dans ces ménages mais ne sont pas *instanciés* en tant qu'agent

---

4. Les données observées nécessaires pour effectuer un calibrage du modèle n'étaient pas disponibles pour 2013, année de départ du CG, au moment de ce calibrage. La situation économique n'a toutefois pas fondamentalement changé entre ces deux années, de sorte que simuler le CG sur la base de 2011 n'altère pas significativement les effets calculés ex ante.

5. Les agents s'unissent entre eux, se séparent, le passage au chômage d'un agent influence les décisions des autres membres du ménages, ...

à part entière et ne prennent pas de décisions dans le modèle. Néanmoins, ces agents *non-instanciés* participent indirectement aux décisions des autres membres du ménage (le nombre d'enfants à charges entre en jeu dans les mécanismes de passage à l'inactivité, la pension de retraite dans le calcul des revenus du ménage). Les individus âgés de moins de 15 ans deviennent des agents à part entière dans le modèle à 15 ans, et certains restent dans le système scolaire tandis que d'autres entrent sur le marché du travail.

Du point de vue informatique (et notamment des systèmes multi-agents), notre modèle utilise trois *artifacts* (au sens de (Omicini et al., 2008)) en tant qu'entités fournissant des services essentiels aux agents et faisant partie de *l'environnement* de notre modèle. Ce ne sont pas des agents informatiques proactifs qui prennent des décisions de manière autonome, contrairement aux agents *individus* et *entreprises privées* du modèle (Ferber, 1995).

Le premier est l'artifact *JobAds*, qui répertorie d'un côté les offres d'emploi des entreprises et les demandes d'emplois de la part des agents à la recherche d'un emploi. La diffusion des informations est toutefois basée sur les processus de recherche des agents décrits plus en détail ci-dessous, selon les principes de la théorie de la recherche. Le deuxième artifact est un *institut de la statistique* qui calcule l'ensemble des statistiques issues d'une simulation du modèle, et diffuse un nombre limité d'informations aux agents, comme la tension sur le marché du travail. Le troisième artifact représente l'*État* qui recrute des fonctionnaires<sup>6</sup>, prélève des cotisations sociales sur les entreprises, et enfin fixe (de manière exogène) les politiques publiques du marché du travail.

A cela s'ajoute *une gestion de la démographie* des agents (vieillessement, ménages, retraites) présentée dans l'annexe A.

Le modèle WorkSim intègre aussi un cadre institutionnel assez complet et modulable qui comprend les éléments du Code du Travail nécessaires (contrats de travail CDD/CDI, indemnités de licenciement, ...), les décisions gouvernementales (e.g. taux de remplacement des fonctionnaires partant à la retraite, les niveaux des salaires et allocations de référence (SMIC, RMI, allocations chômage...), etc.

## Production et salaires dans WorkSim

Dans notre économie, il y a autant de variétés d'un bien unique de consommation que d'entreprises. Elles ont le même prix<sup>7</sup>. Chacune des  $N$  entreprises fait face à une quantité demandée  $D_{j,t}$  qui fluctue du fait de variations stochastiques de goût de la part des consommateurs. Une partie de ceux-ci portent alors leur demande sur une autre entreprise (ou au contraire sur l'entreprise  $j$ ). Cependant, la demande totale  $D^{total}$  (somme des demandes aux firmes) est supposée constante et exogène pour l'année de référence qui sert de cadre à notre simulation.

A chaque pas du temps  $t$ , chaque entreprise  $j$  avec  $n_j$  employés ne peut vendre plus d'unités de biens que la quantité demandée  $D_{j,t}$  et que sa production  $Q_{j,t}^{eff}$ . Le bien est produit avant que l'entreprise ne connaisse sa demande, de sorte que celle-ci paie les salaires et autres charges même si le bien n'est pas vendu. Le bien ne peut être stocké et un excès d'offre est donc perdu. Selon ce modèle, le chiffre d'affaire de l'entreprise  $j$  au temps  $t$  est donc donné par :

$$R_{j,t}^{eff} = P \times \min(Q_{j,t}^{eff}, D_{j,t})$$

Le modèle WorkSim dans sa version actuelle considère que chaque salarié produit individuellement une certaine quantité du bien. Le seul facteur de production est le travail, comme dans nombre de modèles du marché du travail, et ceci peut être justifié partiellement par la non modélisation des marchés des biens. La production effective globale de l'entreprise est donnée par  $Q_{j,t}^{eff} = \sum_{i=1}^{n_j} Q_{i,j,p,t}^{eff}$

6. Ce recrutement de fonctionnaire se fait de manière aléatoire avec des probabilités de tirage d'individu par classe d'âge.

7. On peut s'appuyer sur la théorie de la différenciation horizontale pour justifier ce prix unique. Il est exogène et calibré car il faut que la plupart des entreprises soient profitables faute de quoi le système économique ne serait pas viable.

où  $Q_{i,j,p,t}^{eff}$  est la production effective en unités de bien fournie par l'employé  $i$  sur le poste  $p$  dans l'entreprise  $j$  au temps  $t$ . Le coût global de l'entreprise est  $C_{j,t}^{eff} = \sum_{i=1}^{n_j} C_{i,j,p,t}^{eff}$ , avec  $C_{i,j,p,t}^{eff}$  le coût effectif du salarié  $i$  sur le poste  $p$  dans l'entreprise  $j$  au temps  $t$ . Le profit de l'entreprise au temps  $t$  est donné par  $\Phi_{j,t}^{eff} = R_{j,t}^{eff} - C_{j,t}^{eff}$ . Ce profit est enregistré en mémoire par l'entreprise en vu de la réalisation d'un bilan comptable trimestriel.

Tous les postes et salariés ne sont pas identiques en productivité. Au sein de chaque entreprise, le poste  $p$  de niveau de CSP  $q$  est caractérisé par une productivité de base :

$$Q_{j,p,q}^{base} = \text{Max}(0, (\mu_q + \mathcal{N}(0, \sigma)) \times \text{RatioNbHeureSemaine}(\text{contrat}_p))$$

avec  $\text{RatioNbHeureSemaine}(\text{contrat}_p)$  un coefficient qui vaut 1 si le contrat du poste  $p$  est à «temps plein» (35h travaillées par période) et qui vaut  $\frac{1}{2}$  si le contrat est à «temps partiel». Le salarié  $i$  a des caractéristiques personnelles qui viennent moduler cette productivité de base pour former la productivité effective  $Q_{i,j,p,q,t}^{eff}$  :

$$Q_{i,j,p,q,t}^{eff} = Q_{j,p,q}^{base} \times \text{FacteurProd}_{i,t}^{general} \times \text{FacteurProd}_{i,j,p,q,t}^{spec} \quad (1)$$

- Avec le facteur de productivité générale,  $\text{FacteurProd}_{i,t}^{general} = n\text{Prod}_i \times F_{\beta_q}(CH_{i,t})$ , où  $n\text{Prod}_i$  est le noyau de productivité de l'individu (tiré aléatoirement selon une loi normale, tronquée à 0) qui représente les compétences « innées » de l'individu,  $CH_{i,t}$  est un stock de capital humain individuel, calculé comme la somme d'un capital humain général qui dépend de l'expérience dans la vie professionnelle et d'un capital humain spécifique à la CSP qui dépend de l'expérience dans cette CSP. Chacune de ces parties augmente de 1 à chaque période passée en emploi, mais diminue d'un certain pourcentage  $\text{PrPerteXP}$  pour chaque période passée hors emploi après 6 mois (effet d'oubli des compétences par exemple).  $F_{\beta_q}(x) = 1 + \beta_q x$ .  $\beta_q$  est un paramètre exogène de sensibilité au capital humain de l'individu (dont la CSP est  $q$ ).
- Avec le facteur de productivité spécifique  $\text{FacteurProd}_{i,j,p,q,t}^{spec} = F_{\lambda_q}(CH_{i,j,p,q,t}^{spec})$ , où  $CH_{i,j,p,q,t}^{spec}$  est le capital humain spécifique qui modélise les compétences apprises par l'individu dans son poste dans son entreprise. Il s'agit d'une forme d'apprentissage qui porte sur les aspects technologiques et sociaux propres au poste. Il augmente de 1 à chaque période passée sur le poste. Si l'individu change de poste ou d'entreprise, ce capital est remis à 0.  $F_{\lambda_q}(x) = 1 + \lambda_q x$ , avec  $\lambda_q$  un paramètre exogène de sensibilité au capital humain spécifique pour un poste de CSP  $q$ .

Enfin l'information de l'employeur sur cette productivité est imparfaite et évolutive, une des options théoriques essentielles du modèle WorkSim étant qu'un employeur ne connaît jamais parfaitement la productivité d'un salarié. Cette hypothèse se place dans la ligne de Jovanovic (Jovanovic, 1979), et a de multiples effets potentiels sur le fonctionnement du marché du travail. Nous supposons que l'entreprise n'a pas a priori la connaissance précise des niveaux de productivité effective associés à chacun de ses employés. Elle sait évaluer seulement un niveau de productivité estimé (Pries and Rogerson, 2005) :

$$Q_{i,j,q,p,t}^{estimé} \sim \text{Max}(0, \mathcal{N}(Q_{i,j,q,p,t}^{eff}, \sigma_{i,j,q,p,t})) \quad (2)$$

Cette quantité  $Q_{i,j,q,p,t}^{estimé}$  est tirée suivant cette distribution normale au moment où le salarié est embauché puis à chaque nouvelle évaluation de l'employé.  $\sigma_{i,j,q,p,t}$  représente le niveau d'incertitude de l'entreprise pour évaluer son employé. Il dépend de l'ancienneté de l'employé dans l'entreprise à son niveau de CSP et du nombre de fois où il a été évalué par son entreprise, et est donné par l'équation :

$$\sigma_{i,j,q,p,t} = \sigma_0 \times (1 - \delta_\sigma \times \text{Ancien}_{i,j,q,p,t}^{spec} - \eta_\sigma \times \#Eval_{i,j,q,p,t}) \quad (3)$$

Avec  $\sigma_0$ ,  $\delta_\sigma$  et  $\eta_\sigma$ , des paramètres exogènes.

Néanmoins, comme l'entreprise connaît sa production globale  $Q_{j,t}$ , dans le cas où elle n'a qu'un seul salarié, elle n'a pas d'incertitude pour évaluer la production effective de cet unique salarié, donc  $\sigma_{i,j,q,p,t} = 0$ .

Le salaire hebdomadaire de base pour un poste du niveau de CSP  $q$  dans l'entreprise  $j$  est calculé par :

$$S_{j,q,p}^{base} = Q_{j,q,p}^{base} \times P \times (1 - \zeta) \quad (4)$$

Avec  $P$  le prix du bien dans notre économie, et  $\zeta$  un paramètre exogène qui représente la part de la productivité en valeur de ses salariés prise par la firme.

Le salaire d'embauche  $S_{i,j,q,p,t=embauche}^{eff}$  d'un salarié  $i$  dans l'entreprise  $j$  au niveau de CSP  $q$  au temps  $t = embauche$  est donné par :

$$S_{i,j,q,p,t=embauche}^{eff} = \text{Max}(SMIC, S_{j,q,p}^{base} \times F_{\beta_q}(CH_{i,t=embauche})) \quad (5)$$

Le salaire d'embauche est ainsi le salaire de base du poste modulé selon le capital humain individuel du salarié embauché (expérience), avec  $F_{\beta_q}(x) = 1 + \beta_q x$ .

Ce salaire d'embauche ne dépend pas du noyau de productivité même estimé. La raison ne se trouve pas dans l'imperfection de l'information puisque l'employeur a une estimation (provisoire) de ce noyau, mais dans des considérations d'équité importantes en gestion des ressources humaines (Cf. e.g. (Adams, 1963)). Le sentiment d'iniquité pourrait susciter des réactions de baisse d'effort et de productivité des salariés qui s'estimeraient mal traités, si le salaire de base différait pour des postes identiques.

Ce salaire hebdomadaire est réévalué chaque année, à sa date d'anniversaire dans l'entreprise suivant l'équation :

$$S_{i,j,p,q,t}^{eff} = \text{Max}(SMIC, S_{j,q,p,t}^{base} \times F_{\beta_q}(CH_{i,t}) \times F_{\lambda_q^*}(CH_{i,j,p,q,t}^{spec})) \quad (6)$$

avec  $F_{\lambda_q^*}(CH_{i,j,p,q,t}^{spec})$ , le facteur de gain de productivité lié à son expérience acquise dans l'entreprise qui se répercute sur son salaire. Dans l'équation 1 de la productivité, c'est le terme  $F_{\lambda_q}(CH_{i,j,p,q,t}^{spec})$  qui intervient. Nous supposons conformément à la littérature que l'entreprise répercute seulement une part des gains de productivité lié au capital humain spécifique sur le salaire. Donc  $\lambda_q^* < \lambda_q$ .

## PRÉSENTATION DU CYCLE DE SIMULATION DE WORKSIM ET DES DÉCISIONS DES AGENTS

Une période dans WorkSim se décompose en quatre étapes : A) Décisions économiques des entreprises ; B) Décisions des individus ; C) Recrutements et Promotions et D) Processus démographique. La Figure 1 résume le déroulement de cette période.



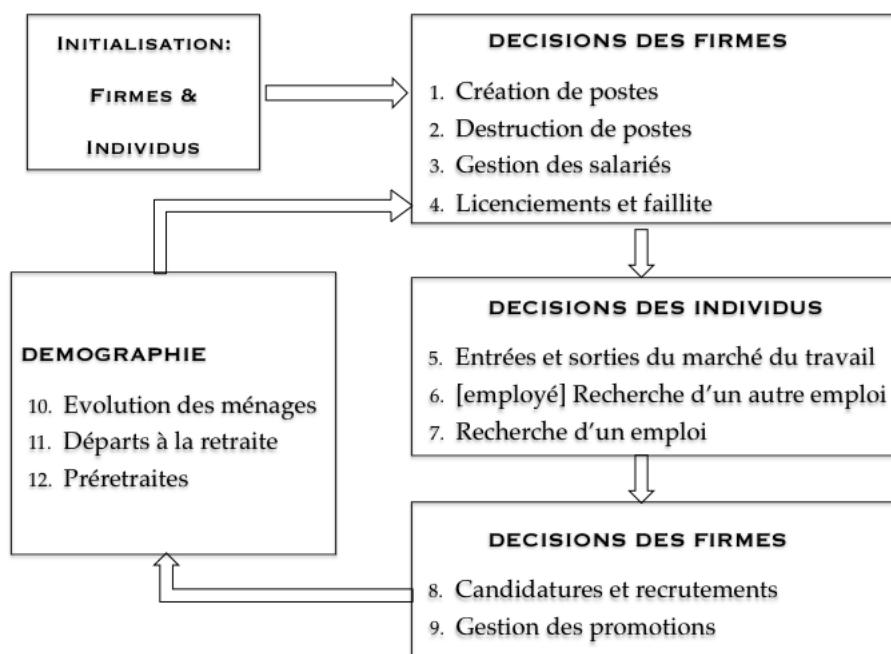


FIGURE 1 – Les différentes étapes d’un cycle de simulation

La **longueur d’une période** dans le modèle représente *une semaine* dans le monde réel, afin de prendre en compte les CDD qui ont une durée d’une semaine, et représentent une part importante des CDD.

Conformément au cycle de simulation présenté précédemment, nous commençons par présenter les décisions des firmes. Nous présentons ici le modèle du marché du travail “classique” en régime CDD/CDI. La modélisation du Contrat de Génération est présentée plus loin dans cet article.

## Décisions des entreprises

Chaque entreprise comporte au moins un emploi, et souvent plusieurs, qu’on désignera par le terme de poste - afin de caractériser le fait qu’ils sont différenciés. En premier lieu, à chaque période, chaque entreprise commence par gérer ses postes, en décidant éventuellement d’en créer de nouveaux et de les publier via *JobAds*, ou d’en supprimer selon la demande. Ensuite elle s’occupe de la gestion des salariés, en les évaluant et en décidant éventuellement de procéder à des licenciements, et de renouveler ou pas les CDD à terme.

On définit  $G_{j,t} = D_{j,t} - (Q_{j,t}^{eff} + Q_{j,t}^*)$  l’écart entre d’une part la quantité de bien demandée à l’entreprise  $D_{j,t}$ <sup>8</sup> et d’autre part la somme de la quantité de production effectivement produite  $Q_{j,t}$  à laquelle s’ajoute la production espérée des postes vacants de l’entreprise  $Q_{j,t}^*$  en attente d’être pourvus.

Nous distinguons les comportements de l’entreprise dans les cas où  $G_{j,t} > SeuilDemande$  (accroissement de la demande),  $G_{j,t} < SeuilDemande$  (réduction de la demande) et  $-SeuilDemande < G_{j,t} < SeuilDemande$  (pas d’impact significatif susceptible de changer la politique de recrutement de l’entreprise). *SeuilDemande* est un paramètre exogène calibré.

Dans le cas où  $G_{j,t} > SeuilDemande$ , l’entreprise envisage de créer un nouveau poste à pourvoir. Les caractéristiques du poste à créer dépendent d’abord du choix entre CDD et CDI, ce choix est effectué aléatoirement selon des probabilités identiques pour toutes les firmes, tirées des statistiques de l’année de référence, et qui diffèrent selon la CSP. Ceci est une hypothèse qui rend compte de

8. Nous rappelons que cette quantité demandée varie de façon stochastique pour chaque entreprise.

l'obligation pour certains postes d'être des CDD par exemple lorsqu'il y a remplacement de salariés en CDI en congé maladie. L'endogénéisation du choix requiert une modélisation complexe qui est laissée à une recherche future. Trois niveaux de CSP sont actuellement considérés dans WorkSim : employé ou ouvrier, profession intermédiaire (PI), cadre. S'il s'agit d'un CDD, on déterminera sa durée, là encore par tirage différent selon la CSP. Les durées considérées pour les CDD sont : 1 semaine, 1 , 2 , 6, 12 ou 24 mois. Enfin le type de contrat « temps plein » ou « temps partiel » est tiré aléatoirement suivant une probabilité qui dépend du niveau de CSP du poste.

Cependant, pour que le poste  $p$  soit définitivement créé dans la CSP  $q$ , l'entreprise estime son profit attendu par période à partir des éléments suivants : salaire de base et productivité estimée par prospection, revenu attendu à partir de cette productivité. Le coût du poste est un coût estimé par période en fonction du salaire mais inclut aussi un coût éventuel de rupture du contrat qui différera selon le type de contrat (CDD d'usage, CDD standard, CDI) ainsi que le coût de vacance attendu compte tenu de la durée attendue de vacance et amorti sur chaque période de la durée attendue du contrat (coût de la publication du poste, temps consacré aux entretiens par les recruteurs...). Ce coût est estimé par apprentissage à partir des périodes de vacances observées dans le passé. Si le profit est positif, le poste est créé.

Une fois la décision de créer le poste prise, l'entreprise informe *JobAds* de ce poste, et de ses caractéristiques, et reçoit gratuitement un certain nombre d'informations sur les caractéristiques d'un échantillon de demandeurs d'emploi. Elle calcule les profits attendus, et pour ceux qui sont positifs, l'entreprise retient la moyenne  $\Phi_{Moy}$ , le maximum de ces profits,  $\Phi_{Max}$ , et le minimum  $\Phi_{Min}$ . Cette règle représente sous la forme d'une rationalité limitée l'information sur la moyenne et l'étendue de la distribution qu'une entreprise, plus ou moins régulièrement sur le marché de l'embauche, peut obtenir. La théorie de la recherche conduit à en tirer un seuil de rentabilité au dessous duquel l'entreprise préfère ne pas embaucher un candidat. Ce seuil, qui constitue la norme d'embauche calculée au temps  $t = creation$  de création du poste, est donné par l'équation :

$$NormeEmbauche_{j,p,q,t=creation} = N_1 \times \Phi_{Moy} \times (1 + N_2 \frac{\Phi_{Max}}{\Phi_{Min}}) \times \frac{N(d_p)}{G(ITENS_{t=creation})}$$

avec  $N_1$  et  $N_2$ , deux paramètres exogènes calibrés,  $N(d_p)$  une fonction croissante de la durée  $d_p$  du contrat associé au poste  $p$  avec un minimum à  $N_3$  (paramètre calibré) pour un poste en CDD d'une durée égale à une semaine et un maximum à 100% pour un contrat CDI.

Cette norme d'embauche est inversement proportionnelle au facteur  $G(ITENS_{t=creation})$  de tension sur le marché du travail au moment de la création du poste. La norme d'embauche décroît ensuite d'un facteur calibré  $N_4$  période après période tant que le poste n'est pas pourvu.

Dans le cas  $G_{j,t} < SeuilDemande$ , l'entreprise supprime des postes vacants de manière séquentielle en calculant si le profit attendu sur ce poste est négatif. Cette sélection est aléatoire, car entre deux postes vacants il n'y a pas d'arguments dans le modèle pour les trier. Par ailleurs, les postes vacants qui ne sont pas pourvus et qui dépassent une durée de vacance supérieure à un certain seuil (paramètre qui diffère selon qu'il s'agit d'un CDD ou d'un CDI) sont supprimés.

Une fois les postes gérés, l'entreprise procède à l'évaluation des salariés, qui a lieu : (1) en fin de période d'essai pour les CDD et CDI, (2) en fin de contrat d'un CDD pour savoir s'il est renouvelé, (3) en fin de contrat d'un CDD, dans le cas où la transformation du CDD vers le CDI est envisagée et (4) tous les ans, à sa date d'anniversaire d'entrée dans l'entreprise, un employé en CDI est évalué par son entreprise.

Pour décider de garder un employé, la firme associe un gain à chaque scénario :

- si elle garde l'employé, l'entreprise recalcule la marge de demande qu'elle a sans ce poste, et réévalue l'intérêt qu'elle aurait maintenant à créer ce poste. Elle dispose cette fois-ci d'une estimation plus fiable de la productivité réelle de l'employé.

- si elle se sépare de l’employé dans le cadre d’un licenciement pour motif personnel, elle évalue les coûts du licenciement (incluant un possible recours aux prud’hommes) et calcule le profit éventuel avec un nouveau salarié qu’elle pourra recruter à la place de l’employé licencié avec le même contrat et au même niveau de CSP.

La firme compare les gains totaux associés à chaque scénario. Si elle choisit de se séparer de cet employé (fin de période d’essai, fin de contrat de CDD ou bien licenciement pour motif personnel du CDI), elle publie une annonce pour recruter un nouvel employé au même niveau de CSP. Nous modélisons également les licenciements pour faute grave.

L’évaluation de la rentabilité financière de l’entreprise se fait tous les trimestres (12 périodes dans la simulation). La première date du bilan est tirée de manière aléatoire, puis les bilans ont lieu tous les trimestres à partir de cette date.

L’entreprise calcule son profit trimestriel réalisé et ses coûts trimestriels (voir plus haut le calcul du profit de l’entreprise). Si son rendement devient inférieur à un certain seuil, l’entreprise est en perte et enclenche un processus de réduction de l’emploi : Tous les postes vacants sont supprimés, et si ce n’est pas suffisant pour retrouver l’équilibre financier, l’entreprise licencie alors au hasard un certain nombre d’employés pour motif économique, ce nombre étant le minimum à licencier pour revenir au dessus du seuil de profit. Par ailleurs, si une entreprise n’a plus de salarié (en comptant le dirigeant), elle est considérée comme étant en faillite et disparaît de la simulation. Le dirigeant devient un chômeur. Afin de garder constant le nombre d’agents-entreprises dans la simulation de l’année de référence 2011, nous choisissons alors aléatoirement un individu *actif* dans la simulation qui crée une nouvelle entreprise et se place dedans comme dirigeant (en CDI) et producteur.

Nous détaillons enfin le processus d’embauche et de promotion. l’entreprise reçoit les *CV* de candidats externes qui ont postulé cette période à l’offre de poste vacant de l’entreprise. Par ailleurs, l’entreprise reçoit éventuellement des candidatures de candidats internes. Ce sont des salariés de l’entreprise dont l’ancienneté dépasse un seuil défini en paramètre (*SeuilSeniorite*), et dont le grade est strictement un cran en dessous du niveau de CSP du poste. Un processus à deux étapes, symétrique au processus de tri des postes par les chercheurs d’emplois, a lieu. Tout d’abord la firme attribue un score à chaque candidat (interne ou externe), ce score étant le profit attendu pour l’entreprise dans le cas où le candidat serait embauché, puis le meilleur candidat est désigné. Ensuite la firme vérifie que ce candidat passe la norme d’embauche. Si c’est le cas, le candidat est embauché et le type de contrat du poste est affecté à l’individu. L’entreprise envoie alors un message à *JobAds* pour retirer la publication de cette offre d’embauche. Sinon, le poste reste vacant. Si le meilleur candidat embauché était un candidat interne à l’entreprise, il s’agit d’une promotion. L’employé acquiert un niveau de CSP égal à celui du poste, s’il n’est pas déjà dans cette CSP.

## Décisions des individus

Elles sont réalisées à chaque période. Un individu se trouve dans un état qui peut être : Inactif, Chômeur, Employé (PAE), Employé à la recherche d’un autre emploi (PARAE), Etudiant ou Retraité. Les passages entre les états peuvent être occasionnés par des choix de l’individu (démissionner,...) ou bien des événements subis (licenciement, décès...), ou enfin résulter d’une séquence de deux décisions (candidater, et l’entreprise embauche le candidat).

Les mécanismes décisionnels des individus se font à l’aide de fonctions d’utilités, qui permettent à l’agent de mesurer l’intérêt qu’il a de rester dans son état courant par rapport à l’éventualité d’un changement d’état. Ces utilités sont modélisées par une fonction de type Cobb-Douglas :

$$U = (\text{Revenu} + \text{Aménité} + \text{Stabilité})^{1-\alpha} (\text{Temps libre})^\alpha \quad (7)$$

Cette fonction d'utilité consiste en une agrégation pondérée de quatre facteurs, le revenu du ménage par unité de consommation, l'aménité et la stabilité en équivalent monétaire, et le temps libre.

L'aménité est un proxy pour l'ensemble des facteurs qui rendent le travail agréable ou pénible. Elle est définie en termes de pourcentage du temps travaillé pour éviter un biais selon le temps de travail, et surtout elle n'est révélée pleinement au salarié qu'après l'embauche, ce qui est source de certaines démissions précoces, conformément à ce qui se passe réellement. Cette imperfection de l'information est par ailleurs un phénomène symétrique par nature de l'imperfection de l'information de l'employeur sur la productivité du salarié qu'il embauche. On suppose par contre que le salarié est rapidement informé de l'aménité, alors que la productivité n'est évaluée que très progressivement (la période d'essai ne suffit pas à connaître la productivité réelle). Le paramètre  $\alpha$  compris entre 0 et 1 représente la préférence de l'individu pour le temps libre (Ballot, 2002).  $\alpha$  évolue de manière différente pour les hommes et les femmes. La répartition actuelle des rôles dans le ménage a pour conséquence que les travaux ménagers et surtout l'éducation des enfants sont plutôt assurés par les femmes. En effet en 2011, d'après l'INSEE, le taux d'activité des femmes vivant en couple et ayant trois enfants ou plus est de 39.8% contrairement à 87.0% chez les hommes se trouvant dans la même situation (INSEE, 2011c).

Le processus décisionnel des individus se fait de manière séquentielle. Le passage d'un état à un autre se fait en comparant les niveaux d'utilité de l'état courant avec le niveau d'utilité espéré dans un nouvel état. L'individu choisit de changer d'état, s'il trouve un nouvel état atteignable caractérisé par une utilité supérieure à celle de son état courant comme on le voit sur la Figure 2. Dans ce cas, l'individu arrête son processus de décision et change d'état, conformément au principe de rationalité limitée au sens du *satisficing* de Simon (Simon, 1955).

Avant de commencer une recherche coûteuse en temps, les inactifs et les salariés PAE effectuent une auto-évaluation de leur employabilité, calculée comme la productivité estimée pour un poste de niveau de CSP  $q$ , modulée par la tension sur le marché du travail :  $EMPLOY_{i,t} = ITENS_t \times Q_{i,q,t}^{estimée}$ , avec  $Q_{i,q,t}^{estimée} = Q_{q,t}^{baseMoyen} \times FacteurProd_{i,t}^{general}$ .

L'employé décide de commencer une recherche si cette valeur est supérieure à un seuil d'employabilité défini en paramètre exogène, et si l'utilité de l'état chômeur est supérieure, à un facteur psychologique ICHANG près, à celle de l'inactivité.

De façon générale, chaque individu calcule l'utilité de son état et la compare avec celle des états qu'il pourrait éventuellement atteindre, comme on le voit sur la Figure 2 ci-dessous.

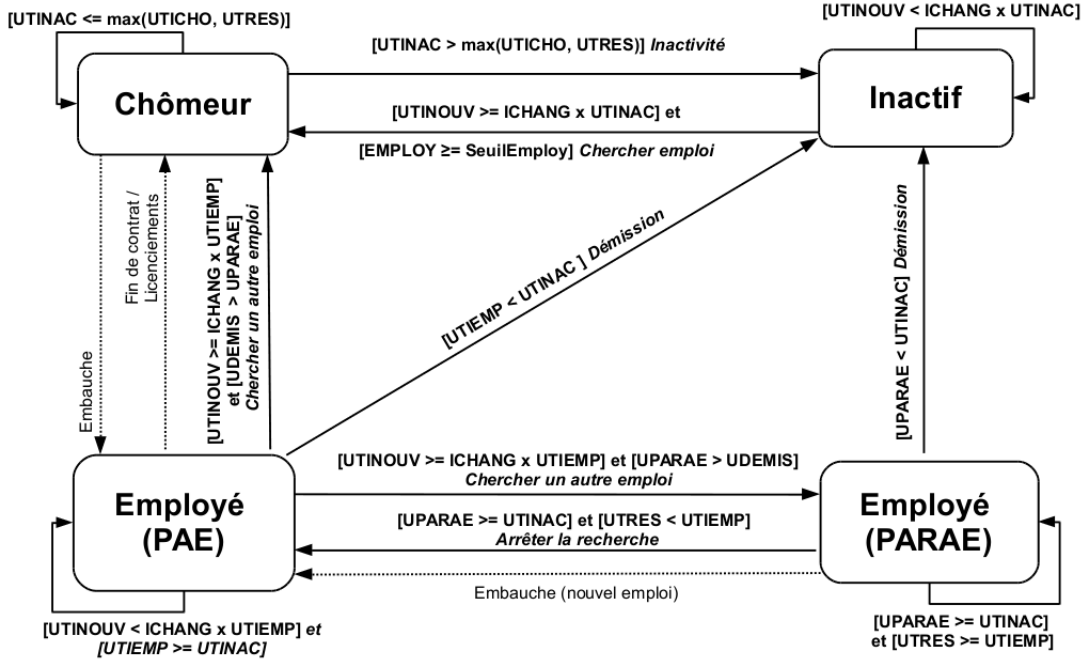


FIGURE 2 – Diagramme d'états décrivant les principales transitions des individus et leur critères de décision. Chaque utilité est calculée selon l'équation 7. Légende :  $UTINAC$  : utilité d'être en inactivité.  $UTINOUV$  : utilité d'un emploi nouveau, calculée par prospection.  $UTICHO$  : utilité en état de chômage.  $UPARAE$  : utilité du PARAE.  $UTIEMP$  : utilité de l'employé PAE.  $UDEMIS$  : utilité suite à une démission.  $UTRES$  : utilité de réservation (apprise).  $ICHANG$  est un coefficient supérieur à 1 exprimant le coût psychologique face au changement. C'est un paramètre exogène calibré. Les flèches en pointillés correspondent à des décisions qui ne dépendent pas entièrement de l'agent (i.e. prises par l'entreprise)

Pour les individus dans les états d'employé (PAE) ou bien dans l'état inactif, des informations gratuites (canaux informels) sur un nombre limité d'emplois sont obtenues pour guider la décision de commencer la recherche d'un emploi pour l'inactif ou bien d'un autre emploi pour l'employé qui passera ainsi à l'état d'employé PARAE (à la recherche d'un autre emploi). L'individu reçoit chaque mois des informations concernant  $NPros$  nouveaux postes  $p$  prospectés. Cette liste de postes connus est obtenue en tirant aléatoirement une liste d'emplois parmi les postes vacants qui correspondent à la CSP courante de l'individu. En fonction des informations qu'il reçoit sur ces postes, il évalue  $UTINOUV$ , qui représente l'utilité de chercher un nouvel emploi.

Par ailleurs, l'utilité de réservation  $UTRES_{i,0}$  d'un individu  $i$  qui commence à rechercher un emploi est initialisée selon son état passé. Pour le salarié, dans le cas de la démission ou du passage au statut de PARAE, l'utilité de réservation de l'individu est définie à partir de la liste des postes connus lors de la recherche gratuite,  $UTRES_{i,0} = UTINOUV_i$ . De même, dans le cas du passage de l'état inactif vers l'état de chômeur, au moment où l'individu commence à rechercher un emploi  $UTRES_{i,0} = UTINOUV_i$ . Dans le cas où un employé passe au statut de chômeur à cause d'un licenciement, l'utilité de réservation est initialisée à la valeur de l'utilité de l'emploi présent,  $UTRES_{i,0} = UTIEMP_i$ . L'individu n'a pas d'autres exigences au début de sa recherche que de retrouver un emploi avec autant d'utilité que celui qu'il vient de perdre.

Les utilités de réservation  $UTRES_{i,t}$  du chômeur et du PARAE décroissent avec le temps de recherche<sup>9</sup>.

9. Le chômage est défini selon les critères du BIT et non ceux de Pôle Emploi. Les individus qui ont un emploi à temps

A chaque période pour un chômeur, cette utilité décroît aussi avec la baisse de son utilité myope d'être au chômage  $UTICHO_{i,t}$  résultant des revenus dans la période (allocation chômage, RSA...) et du temps libre diminué du temps passé à rechercher un emploi chaque semaine :<sup>10</sup>

$$UTRES_{i,t} = UTRES_{i,t-1} - Param3_{UTRES} + Param4_{UTRES} \times (UTICHO_{i,t} - UTICHO_{i,t-1})$$

Avec  $Param3_{UTRES}$  et  $Param4_{UTRES}$ , deux paramètres exogènes calibrés.  $UTICHO_{i,t}$  est l'utilité pour l'individu  $i$  d'être dans l'état chômeur, elle est calculée selon l'équation 7 avec le montant de l'allocation chômage perçue par l'individu et un temps libre diminué de son temps passé à rechercher un emploi chaque semaine. A chaque période pour un employé à la recherche d'un autre emploi (PARAE),  $UTRES_{i,t} = UTRES_{i,t-1} - Param3_{UTRES}$ . Il nous reste à préciser la procédure utilisée par les individus pour rechercher un emploi au cours d'une période. L'individu, du fait du temps consacré à sa recherche, obtient de JobAds une liste de  $NPros$  postes vacants correspondant à sa CSP et à un niveau de CSP supérieur. L'individu postule ensuite à la meilleure offre qu'il reçoit et qui dépasse son utilité de réservation. Si le chercheur d'emploi ne reçoit pas d'offres de postes vacants qui correspondent à son niveau de CSP ou bien qu'aucune de ses candidatures n'est acceptée, il baisse son utilité de réservation.

Pour les étudiants, nous avons opté pour un module de décision, dit "boîte noire", qui vise à reproduire simplement les flux des étudiants vers l'activité sur le marché du travail en 2011. Les agents fonctionnaires (21,3 % des agents) ne prennent pas de décisions, et sont pour le moment uniquement présents afin de respecter les statistiques démographiques. Ils sont remplacés avec un taux de 1 :1 (afin d'obtenir un état stationnaire) par un jeune en fin d'études tiré au hasard.

## CALIBRAGE DU MODELE ET CARACTERISATION DU MARCHE DU TRAVAIL FRANCAIS.

### Mise à l'échelle du modèle

Nous choisissons l'année 2011 comme année de conjoncture moyenne pour notre simulation, car c'est l'année la plus récente pour laquelle nous disposons d'un grand nombre de données statistiques. Nous choisissons d'effectuer une mise à l'échelle avec un facteur de 1/4700 pour les nombres d'entreprises et d'individus âgés de 15 à 65 ans en France en 2011. Nous obtenons en tout 808 entreprises et 8 713 agents individus, soit 9 521 agents dans la simulation.

### Méthode de Calibrage et d'initialisation du modèle

L'enjeu de cette partie est de déterminer les valeurs qui doivent être affectées aux paramètres du modèle pour reproduire la structure du marché du travail français en 2011.

Pour simuler le marché du travail français, nous retenons trois objectifs de calibrage :

1. Reproduire le plus possible de caractéristiques jugées importantes du marché du travail de cette année : taux de chômage par catégorie d'âge, par CSP, niveaux des salaires, ancienneté dans le chômage...
2. Reproduire des flux du marché du travail pour avoir une dynamique interne du marché du travail la plus réaliste possible : taux d'entrée et de sortie de l'emploi par type de contrat CDD ou CDI, taux de démission, taux de licenciement...

---

partiel sont des PARAE, même s'ils pourraient être inscrits comme PARE à Pôle Emploi.

10. Nous distinguons cette utilité du chômage myope  $UTICHO_{i,t}$ , de l'utilité qui dynamique  $UTRES_{i,t}$  conforme à la théorie de la recherche qui prend en compte l'espérance de l'obtention d'un emploi avec un certain salaire espéré.

3. Atteindre un état stationnaire du modèle<sup>11</sup>, dans le sens où il n’y a pas de *trend* sur les principaux taux calibrés (e.g. chômage) pendant 2600 périodes (durée de 50 ans qui correspond à une carrière complète de 15 à 65 ans des individus les plus jeunes). Cela nous permettra de stabiliser les sorties du modèle afin d’effectuer une analyse de variantes autour du point d’étude.

Afin de satisfaire ces trois objectifs, il va nous falloir déterminer les valeurs à affecter aux paramètres du modèle qui permettront de reproduire les objectifs en termes de stocks et de flux d’individus une fois le modèle stabilisé. Le modèle WorkSim comporte en tout 141 paramètres à fixer. Ces paramètres sont de deux types. Les premiers se déduisent des institutions (niveau du SMIC, durée de période d’essai, formule des indemnités de licenciement), des statistiques disponibles (démographie) ou d’études économétriques sur le marché du travail. Les seconds sont des paramètres qui doivent être calibrés (Cf. annexe C). On en compte 40, parmi lesquels la préférence initiale pour le temps libre des individus (Cobb-Douglas travail/loisir) ou bien la part sur le salaire que se réserve l’entreprise sur la productivité en valeur. Pour chacun de ces paramètres des plages de valeurs admissibles sont retenues afin d’éviter des comportements des agents non réalistes au niveau microéconomique.

Pour calibrer ces paramètres, nous minimisons une fonction *fitness* obtenue en sommant les différences relatives au carré entre les sorties de notre modèle et des cibles réelles du marché du travail en 2011 (source INSEE/DARES). Nous avons choisi 48 cibles principales regroupées en 7 catégories différentes (cf. annexe B). Compte tenu du nombre important de cibles considérées, il nous a paru important de ne pas les traiter toutes sur le même plan et de les pondérer en fonction d’un degré d’importance relatif au cadre de notre étude. Nous avons ainsi privilégié les cibles sur les taux de chômage, les taux d’activité et les salaires en les surpondérant dans la fonction de *fitness*.

Nous déterminons le jeu de paramètres qui minimise cette fonction de *fitness* à un horizon de 2600 périodes soit 50 ans. Ce choix de 50 ans correspond à une carrière complète des individus les plus jeunes, de façon à s’assurer que l’ensemble des agents du modèle ont tous des CV entièrement simulés dans le modèle et qu’il n’y a pas de biais liés à la phase d’initialisation du modèle. La minimisation de la fonction de *fitness* revient à résoudre un problème d’optimisation continue. Nous choisissons d’utiliser l’algorithme évolutionniste CMA-ES (Hansen and Ostermeier, 2001), qui est actuellement un des algorithmes les plus performants pour résoudre ce type de problème (Auger, 2012). CMA-ES signifie *Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy*. Le principe de cet algorithme évolutionniste, inspiré de la biologie, est de tester pas à pas de nouvelles générations de points dans l’espace de paramètre. Chaque nouvelle génération de points est générée de façon stochastique à partir des points de la génération précédente. La moyenne et la matrice de covariance de la distribution de ces nouveaux points tirés aléatoirement est mise à jour de manière incrémentale de façon à diriger le tirage des nouveaux points dans la direction des meilleurs résultats obtenus lors des générations précédentes.

Une fois que la fonction de *fitness* est minimisée à l’horizon de 2600 périodes en état stationnaire, nous effectuons une sauvegarde de l’ensemble des états des agents. Cette sauvegarde sera notre unique point de départ de nos analyses de variantes du modèle. Nous vérifions qu’un état stationnaire est bien atteint en calculant les sorties du modèle après à nouveau 2600 périodes à partir de cette sauvegarde du modèle. On mesure des dérives des sorties du modèle inférieures à 5% pour l’ensemble des cibles principales de calibration.

Les résultats obtenus pour les cibles de la calibration sont présentés en annexe B. Les sorties sont des moyennes calculées sur 500 simulations. Les valeurs des paramètres calibrés sont présentées dans l’annexe C. Nous obtenons globalement un écart médian avec les cibles objectifs de 11.1%, qui peut être considéré comme acceptable, eu égard à la multiplicité des interactions.

---

11. Notre modèle du marché du travail évolue à demande globale constante. C’est un invariant de notre modèle qui permet de garantir l’atteinte d’un état d’équilibre

## Comparaison des flux simulés avec les DMMO

Nous avons vérifié les valeurs des sorties sur lesquelles nous avons calibré notre modèle. Il est intéressant maintenant de vérifier que d'autres types de sorties, qui ne rentraient pas en compte dans notre fonction de *fitness*, sont correctement représentées. Pour cela, nous comparons les flux bruts de la main-d'œuvre calculés par WorkSim par catégorie d'âge avec les flux calculés par la DARES à partir des Déclarations mensuelles des Mouvements de Main-d'Oeuvre (DMMO) et des Enquêtes sur les Mouvements de Main-d'Oeuvre (EMMO) (DARES, 2012b). Ces flux d'entrées et de sorties sont les rapports entre les nombres d'entrées (ou sorties) brutes sur l'année 2011 et le nombre total moyen d'agents en emploi dans les établissements de 1 salarié ou plus pendant cette même année. Il est remarquable de constater que la plupart des flux de main-d'œuvre calculés par WorkSim sont proches des DMMO, ce qui nous permet de valider la cohérence de notre modèle de flux par âge (cf. annexe D).

## Eléments de caractérisation du marché du travail français

Le modèle WorkSim permet de caractériser le marché du travail français, étape nécessaire pour pouvoir étudier les effets que pourront avoir le CG. Lorsqu'on analyse les flux bruts d'individus simulés, on constate que le marché du travail est caractérisé par de forts taux de rotation entre les statuts de chômeur et de salarié en CDD. La probabilité de transition<sup>12</sup> des chômeurs vers le CDD est 5,1 fois plus importante que vers le CDI. Sur l'ensemble des individus en CDD à un instant donné, seulement 27% sont en CDI un an après<sup>13</sup>, les autres fins de CDD conduisant au chômage. Une partie importante des agents alternent donc des périodes en contrat CDD courtes avec des épisodes de chômage. A côté de ces statuts précaires, la plus grande partie des employés occupent un emploi en CDI très stable. On retrouve donc le dualisme caractéristique du marché du travail français, avec une segmentation très marquée entre une partie précaire et une partie très stable.

Une autre question est de savoir si cette segmentation est durable pour les individus ou temporaire. Une segmentation durable a des effets graves en termes de bien-être sur le cycle de vie et de risque d'exclusion. Une segmentation temporaire correspond à une intégration à terme dans un CDI après une période difficile et plus ou moins longue pour une fraction plus ou moins grande des jeunes, et a des conséquences très différentes sur le cycle de vie.

Le schéma de flux des jeunes est caractérisé par deux mobilités qui ensemble les distinguent des flux des deux autres classes d'âge. La première est le double flux entre chômage et CDD. Ce flux est plus important qu'en moyenne (le ratio de la probabilité de transition vers le CDD sur la probabilité de transition vers le CDI chaque période pour un jeune au chômage est de 9,2 contre 5,1 pour l'ensemble des agents). Le schéma de flux des 25-49 ans se caractérise par une stabilité sensiblement plus forte. Le double flux entre chômage et CDD reste significatif mais plus faible et le ratio de la probabilité d'entrée en CDD sur la probabilité d'entrée en CDI chaque période pour un chômeur âgé de 25 à 49 ans est de 4,7. Les résultats actuels du modèle sont suggestifs d'une persistance de la segmentation lors du passage de la jeunesse à l'âge mur. Les titularisations de CDD en CDI ne sont pas très fortes et les recrutements en CDI non plus chez les jeunes de sorte que la précarité ne disparaît pas. *A contrario*, le marché des seniors est plus stable encore que celui des 25-49 ans. On observe donc une certaine persistance du dualisme du marché du travail avec l'âge, qui s'atténue cependant pour les seniors. Toutefois, il serait nécessaire d'effectuer une analyse des trajectoires individuelles simulées sur plusieurs années pour consolider ce diagnostic.

Cette segmentation du marché du travail visible selon les catégories d'âge se retrouve aussi selon les niveaux de CSP. Ainsi, pour les chômeurs de la plus basse CSP du modèle, les employés/ouvriers, le ratio des taux d'entrée en CDD par rapport aux taux d'entrée en CDI est de 13,5. *A contrario* ce rapport

---

12. Il s'agit du flux brut de transition au cours d'une période rapporté au nombre d'individus dans l'état initial au début de cette période.

13. Chiffre inférieur à celui trouvé par Bunel (Bunel, 2007) qui obtenait 36% pour la période 1990-2001.



est de 2,1 pour les professions intermédiaires et de 0,25 pour les cadres. Le constat de segmentation, ici effectué dans un cadre formalisé quantitatif, constitue une base d'analyse pour examiner l'impact d'un nouveau contrat aidé visant les jeunes et les seniors, et susceptible de diminuer cette segmentation, à savoir le CG.

## LE CONTRAT DE GÉNÉRATION DANS WORKSIM

### Modélisation du contrat

Nous allons maintenant illustrer les possibilités pour le modèle WorkSim de modéliser une politique de l'emploi complexe afin d'en étudier l'impact ex ante. Le contrat de génération a été présenté comme une mesure phare contre le chômage. La loi sur le CG a trois objectifs, faire recruter des jeunes en CDI, maintenir (voire faire recruter) des seniors, inciter à des transferts de connaissances. Il constitue un dispositif novateur sur le plan des mécanismes économiques de lutte contre le chômage, avec un élément essentiel au niveau conceptuel qui est ce transfert de connaissances, même si on ne peut assurer qu'il soit pleinement appliqué (pas de sanction en cas de non transmission). Cette originalité justifie notre choix. Toutefois, outre que l'analyse est ex-ante, ce travail est exploratoire, car l'ampleur de la transmission ne peut que faire l'objet de variantes. Cependant, le capital humain n'est pas arbitraire dans WorkSim, puisqu'il engendre pour un degré de transmission de référence une distribution des salaires qui est calibrée sur des données observées. On peut ensuite étudier les effets de variantes de transmission plus élevées ou plus faibles voire nulles.

Le contrat de génération créé par la Loi n° 2013-185 du 1er mars 2013 portant création du contrat de génération, comporte les dispositions essentielles suivantes : a/ l'entreprise embauche un jeune de moins de 26 ans en CDI. b/ il constitue un binôme avec un senior de 57 ans et plus qui doit être maintenu dans l'emploi. Si ce senior est recruté, il peut avoir 55 ans minimum. c/ L'Etat verse, mais uniquement aux entreprises de moins de 300 salariés une prime annuelle de 4000 euros sur une durée de 3 ans. d/ l'entreprise ne doit pas avoir effectué de licenciement économique sur le poste dans les 6 mois précédents. e/ Le salarié senior ne peut être licencié sans mettre fin au CG. f/ Les entreprises de 50 à 300 salariés doivent en outre valider un plan d'action avec des engagements chiffrés en matière d'embauche des jeunes, et d'emploi de salariés âgés ou bien être couvertes par un accord de branche relatif au CG. g/ les entreprises de plus de 300 salariés doivent établir un accord collectif avec les représentants des salariés ou un plan d'action validé par l'Etat, sous la menace d'une pénalité financière qui peut atteindre 1% de la masse salariale.

En résumé le processus est incitatif pour les entreprises de moins de 300 salariés, et repose sur la sanction financière pour les entreprises de plus de 300 salariés. Pour les entreprises entre 50 et 300 salariés, il utilise les deux outils puisqu'il impose un plan d'action ou un accord de branche. Cependant Garoche et Goin (Garoche, 2014) montrent que les engagements relatifs à l'embauche des jeunes suite à la mise en oeuvre de la loi sur le CG sont globalement inférieurs aux embauches réalisés au cours des dernières années. La teneur des engagements sur les seniors est également peu contraignante. Nous considérons donc qu'il est inutile de prendre en compte les règles f et g qui sont par ailleurs impossibles à modéliser ex ante. Dans le modèle les entreprises de plus de 300 salariés ne recourent pas au CG et les entreprises de plus de 50 n'ont pas d'obstacle administratif. Ces deux hypothèses peuvent expliquer une partie de la faiblesse du recours au CG observé par rapport à nos résultats, en considérant que les entreprises de moins de 50 salariés doivent aussi considérer qu'il y a un coût administratif même s'il est moindre.

Afin de modéliser le CG dans le cadre de WorkSim, nous commençons par ajouter la prime du CG dans l'estimation du profit attendu, lors des décisions de création éventuelle de poste en CG. Cela pourra conduire l'entreprise à chercher à embaucher en CG plutôt qu'en CDI. Par ailleurs, nous modifions les

fonctions de production des salariés impliqués : celle du senior et celle du junior. Les règles a, b, c, d et e sont implémentées.

La modification des fonctions de production peut se faire avec de très faibles modifications, s'inspirant de l'analyse de la coopération entre deux travailleurs (Drago and Turnbull, 1988) et du concept de multi-tâches (Holmstrom and Milgrom, 1991). Le senior  $i$  consacre une fraction  $a1_i$  de son temps de travail à la production et une fraction  $a2_i = 1 - a1_i$  à la transmission de ses connaissances au junior, pendant 3 ans maximum. Sa production de base est donc diminuée et égale à :

$$Q_{j,q,p,t=0}^{base} = \text{Max}(0, (\mu_q + \mathcal{N}(0, \sigma_q)) \times a1_i \times \text{RatioNbHeureSemaine}(\text{contrat}_p)) \quad (8)$$

Ce  $Q_{j,q,p,t=0}^{base}$  entre dans le calcul de sa production effective :

$$Q_{i,j,q,p,t}^{eff} = Q_{j,q,p,t}^{base} \times \text{FacteurProd}_{i,t}^{general} \times \text{FacteurProd}_{i,j,q,p,t}^{spec} \quad (9)$$

Cette baisse de production effective pose toutefois des problèmes de fixation du salaire et d'évaluation. Le senior ne transmettrait pas son savoir s'il n'était pas rémunéré de manière au moins égale pour cette activité (principe d'égalité des incitations dans la théorie multi-tâches) et si l'entreprise ne prenait pas en compte ce temps consacré à la formation du junior dans ses évaluations du senior pour un licenciement par exemple. Le salaire comme la production estimée par l'entreprise lors des évaluations du senior (Cf. eq 2) doivent donc être basés sur la productivité correspondant à l'affectation du temps total de travail. Le junior bénéficie d'un accroissement de son capital humain général, de son capital humain de CSP, et de son capital humain spécifique par la transmission du senior. Il n'est pas vraisemblable qu'un salarié puisse transmettre toute son expérience à un junior. Le savoir est en partie tacite, ce qui n'empêche pas une transmission par observation du junior, mais tout le savoir ne peut être montré, ou en tout cas compris. Par ailleurs une autre partie du savoir est codifiée, mais son acquisition relève en partie de formations formelles qui ne sont pas données par le senior. Ce savoir ne sera acquis par le junior que si l'entreprise finance une formation pour le junior. Ceci est possible mais ne fait pas partie du CG. On supposera donc que le montant maximum de connaissances transmises est égal à la fraction du temps consacré par le senior au junior, multipliée par le capital humain général et spécifique du senior. On considérera aussi que cette transmission se fait de manière continue pendant les 3 années, et de manière égale pour le capital humain général, le capital humain spécifique à la CSP et celui spécifique au poste.

Par conséquent l'expérience générale du junior, son expérience au niveau de CSP  $q$  et son expérience spécifique dans le poste  $p$  augmentent plus rapidement que pour un même individu qui n'est pas en contrat de génération : elles augmentent d'un facteur supplémentaire lié à la transmission du savoir par le senior  $i$  au junior. Cette transmission est possible uniquement dans le cas où le senior plus d'expérience que le junior. Dans ce cas :

$$\text{Experience}_{junior,t+1} = \text{Experience}_{junior,t} + 1 + \delta_i \times a2_i \times \text{Experience}_{senior,t} \quad (10)$$

$$\text{Experience}_{junior,q,t+1} = \text{Experience}_{junior,q,t} + 1 + \delta_i \times a2_i \times \text{Experience}_{senior,q,t} \quad (11)$$

$$\text{Ancien}_{junior,j,p,t+1}^{spec} = \text{Ancien}_{junior,j,p,t}^{spec} + 1 + \delta_i \times a2_i \times \text{Ancien}_{senior,j,p,t}^{spec} \quad (12)$$

Le paramètre  $a2_i$  est la part de temps de travail moyen consacré par le senior à la transmission de son expérience. L'efficacité de cette transmission  $\delta_i$  est obtenue par un tirage uniforme dans l'intervalle  $[0,1]$  pour chaque nouveau CG. Dans un premier temps pour notre simulation de référence, nous supposons que  $a2_i = 30\%$  et  $\delta_i = 1/156$ , de manière à ce qu'en moyenne un senior transmette au maximum 30% de son expérience pendant les 3 ans que dure le programme. On rappelle que ces niveaux d'expérience et d'ancienneté du junior entrent dans la détermination de sa production effective, Cf. équation 1.

## Évaluation ex-ante de l'impact agrégé du contrat de génération dans WorkSim

Nous effectuons 500 simulations avec le contrat de génération et 500 simulations sans le contrat de génération, à horizon de 5 ans (260 périodes d'une semaine dans le modèle) à partir de la sauvegarde du modèle en état stationnaire. Pour chaque simulation, les sorties du modèles (taux de chômage, taux d'emploi...) sont moyennées sur la dernière année du programme. Au cours de chacune de ces simulations, nous atteignons le plafond de 100 000 créations de contrats de CG par an (plafond fixé dans les pouvoirs publics). Dans la réalité le taux de recours n'a pas dépassé le tiers du plafond, du fait probablement des obstacles administratifs mais aussi d'une crainte très forte de l'avenir qui dissuade les employeurs d'embaucher les jeunes chômeurs en CDI au delà du calcul économique dans le modèle<sup>14</sup>.

Nous avons aussi fait un test de robustesse concernant les paramètres exogènes  $a2_i$  et  $\delta_i$ , qui entrent en jeu dans la transmission de ses connaissances au junior. Il n'y a aucun impact significatif de ces paramètres sur les résultats généraux du CG à cet horizon de 5 ans. Nous montrons cependant dans la suite de ce papier que ces aspects de transmission de compétence ont un impact à plus long terme sur la carrière des cohortes de jeunes qui bénéficient du programme. Comme on le voit sur le tableau 1, le calcul ex ante de l'impact net du CG après 5 ans réduit globalement le chômage de 33 000 personnes avec 100 000 contrats CG signés par an pour en tout 175 000 contrats CG en vigueur en moyenne dans la dernière année du programme. A noter que ces 175 000 contrats CG correspondent à 175 000 juniors et 175 000 seniors en contrat CG. Si on ramène le nombre de chômeurs évités sur le nombre de contrats en vigueur, on en déduit une efficacité nette du programme de 18.9% seulement.

	sans CG	avec 100 000 CG	Impact
Taux de chômage global	9,25%	9,15%	-0,10%**
Taux d'activité	70,88%	70,87%	-0,01%
Taux d'emploi	64,32%	64,38%	+0,06%**
Taux d'emploi vacant	4,74%	4,62%	-0,12%**
Nombre de chômeurs en milliers	2 676	2 643	-33**
Nombre d'emplois en milliers	26 249	26 281	+32**
Nombre de contrats CG en milliers	0	175	+175**

\*\* Ecart significatif au seuil de 1% du test de Student

TABLE 1 – Résultats de l'impact global du CG au bout de 5 ans. Chaque ligne du tableau correspond à la moyenne sur la dernière année.

L'impact du CG est calculé aussi sur les tranches d'âge 15-29 ans, 30-49 ans et 50-64 ans. Pour l'analyse des effets du CG sur les jeunes, nous choisissons dans la suite de ce document de travailler sur la tranche 15-29 ans au lieu de 15-24 ans, car le contrat de génération s'adresse à des jeunes jusqu'à 26 ans, et comme le contrat est prévu pour durer 3 ans, des individus peuvent être en contrat CG jusqu'à 29 ans.

14. l'étude d'impact de l'Assemblée Nationale (Assemblée-Nationale, 2012) note que le recours des entreprises à des CDI pour les jeunes est très sensible à la situation conjoncturelle du marché du travail (p.25).

	sans CG	avec 100 000 CG	Impact
Taux de chômage 15-29 ans	20,12%	19,74%	-0,38%**
Taux de chômage 30-49 ans	5,62%	5,63%	+0,01%
Taux de chômage 50-64 ans	5,98%	5,95%	-0,03%**
Nombre de chômeurs 15-29 ans en milliers	1 414	1 384	-30**
Nombre de chômeurs 30-49 ans en milliers	767	769	+2
Nombre de chômeurs 50-64 ans en milliers	495	490	-5**

\*\* Ecart significatif au seuil de 1% du test de Student

TABLE 2 – Impact du CG par catégorie d’âge

Nous observons que l’impact du CG concerne bien majoritairement les jeunes, avec 30 000 chômeurs évités, soit 86% des chômeurs évités avec le programme, mais aussi les seniors qui sont gardés en emploi plus longtemps avec la mesure, avec 5 000 chômeurs en moins et 14% des chômeurs évités grâce au programme.

On observe de manière générale que la réduction calculée du chômage des jeunes grâce au contrat de génération n’est pas due à une amélioration des entrées en emploi, mais plutôt à une amélioration de la durée de l’emploi, avec moins d’embauche en CDD et des contrats en CDI qui durent plus longtemps (leur durée moyenne passe de 86 à 90 semaines), ce qui explique que le taux de rotation des jeunes passe de 1,01 à 0,97, avec un effet positif significatif de diminution des épisodes courts de chômage entre des contrats précaires (-4% sur le nombre d’épisodes de chômage de 2 semaines à 2 mois rencontrés par les 15-29 ans). Le coût de la mesure pour le plafond de 100 000 contrats par an est calculé dans notre modèle. Il correspond à la totalité des primes des contrats de générations qui auraient été versées aux entreprises pendant le programme. Ce coût est de 3,1 milliards d’euros sur les 5 ans que dure le programme, soit un coût du même ordre que celui de 2,3 Mds pour 4 ans indiqué dans l’étude d’impact (Assemblée-Nationale, 2012). Nous en déduisons un coût de la mesure par an de 625 millions d’euros. En ramenant ce coût au nombre de chômeurs évités de 33 000 par an, nous obtenons un coût brut de 18 925 euros par chômeur évité et par an. Ces 33 000 chômeurs évités permettent d’économiser 186 millions d’euros de prestations sociales (RSA et allocations chômage), ce qui correspond à 5 654 euros par chômeur par an. Par ailleurs ces chômeurs évités cotisent pour 297 millions d’euros supplémentaires chaque année, ce qui correspond à 8 998 euros par chômeur évité. Nous obtenons donc un coût net de la mesure d’environ 4 273 euros par an et par chômeur évité.

Pour avoir une idée de l’efficacité du contrat de génération compte tenu de son coût, nous le comparons aux politiques d’allègements de charge. Le document de la direction du Trésor (Nouveau, C. et Ouliac, B., 2012) synthétise en 2012 les résultats de différentes études sur les effets des politiques d’allègement de charge sur la période 1993 à 2009. Il en ressort une fourchette pour les effets sur l’emploi : le « coût brut par emploi créé aurait ainsi été compris entre 20 000 euros et 40 000 euros exprimés en euros de 2009, pour 200 000 à 400 000 emplois créés ou sauvegardés ». Nous avons également simulé cet allègement des charges dans WorkSim, et obtenons des chiffres similaires avec environ 325 000 emplois créés pour un coût brut par emploi net de 54 193 euros et un coût net de 39 541 euros en tenant compte des cotisations sociales supplémentaires et des économies de prestations sociales des emplois créés. Le coût plus élevé dans WorkSim peut être dû au fait que l’on y tient compte uniquement de ce qu’en réponse à une hausse idiosyncratique de sa demande, une firme trouve plus souvent profitable d’ouvrir un emploi à pourvoir. Il n’y a pas de stimulation de cette demande par une baisse de prix, ni de substitution du travail au capital.

Dans nos simulations, nous observons que le programme du contrat de génération a un effet beaucoup plus modeste sur l’emploi avec seulement 32 000 emplois créés. Par contre, c’est un programme qui pèse beaucoup moins lourd pour les finances publiques, avec un coût de 625 millions d’euros par an contre 22 milliards d’euros par an pour les allègements de charge. Le coût brut par emploi net créé (le nombre

d'emplois créés diffère de 1000 du nombre de chômeurs évités) avec le contrat de génération est de 19 516 euros. Il est donc beaucoup plus faible que le coût brut de 54 193 euros par an des allègements de charge.

Si les 500 000 contrats prévus par le dispositif étaient un objectif crédible, le programme du contrat de génération serait très rentable par rapport à une politique d'allègement de charge, bien qu'ayant un impact global faible.

## **Études au niveau microscopique des contrats CG - Pourquoi un faible impact du programme même avec un recours maximal des employeurs ?**

Nous avons vu dans la partie précédente que les impacts du contrat de génération étaient limités et que le ratio du nombre de chômeurs évités ramené au nombre de contrats signés était faible (18.9% en moyenne sur la dernière année).

Nous souhaitons maintenant « descendre » au niveau des agents du modèle pour caractériser le contrat de génération au niveau microscopique et tenter d'expliquer d'où vient cette faible efficacité du programme.

C'est ici un apport important de la modélisation du marché du travail avec un système multi-agents, qui permet d'analyser finement les effets d'évictions entre les différentes catégories de main d'oeuvre, ainsi que les comportements et les trajectoires individuelles : motifs d'entrées et de sortie de ce contrat, effets d'aubaine, répercussions du contrat de génération sur les carrières des individus qui en bénéficient. Par ailleurs, la démarche suivie s'apparente à une expérience naturelle qui est assez nouvelle dans un modèle à base d'agents.

Dans le modèle, 67% des entrées en CG se font par recrutement externe et 33% par titularisation en interne d'un employé en CDD vers un contrat CG.

Nous mesurons les effets d'aubaine pour les entreprises, en comptant pour chacun de ces types d'entrée en CG, titularisation et recrutement externe, les cas où les embauches en contrat indéterminé auraient été réalisées de toute façon sans l'incitation de la prime versée par l'Etat (i.e. en mesurant le nombre d'embauches pour lesquelles le profit attendu dépasse le montant de la prime). On divise ce chiffre par le nombre d'embauches en CG. Nous mesurons un effet d'aubaine global du CG de 89%.

L'étude d'impact du contrat de génération par l'Assemblée Nationale (Assemblée-Nationale, 2012) (p.27) estime que la durée moyenne des contrats de génération sera légèrement inférieure à deux ans et demi, compte tenu des départs des jeunes avant la fin du contrat. D'après les résultats de WorkSim, il semble que cette durée soit surestimée à cause de l'ensemble des motifs de fin possible du contrat pouvant venir aussi bien de l'employeur que des employés en contrat de génération, junior comme senior. Nous mesurons dans le modèle une durée moyenne passée en CG par les jeunes de 17,5 mois soit environ la moitié des 36 mois maximum financés par le programme.

Les raisons de fin des contrats de génération dans le modèle sont les suivantes :

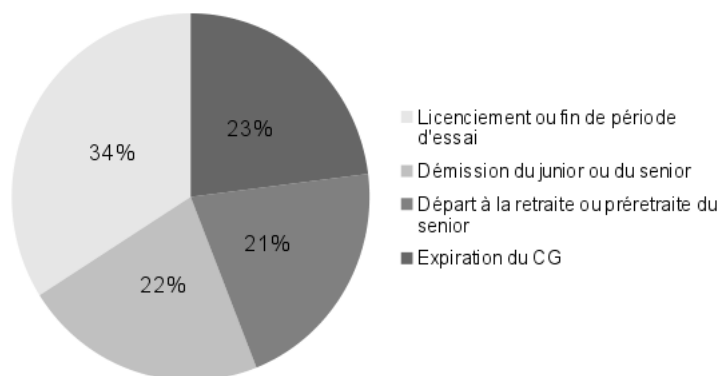


TABLE 3 – Motifs des raisons de fin du contrat de génération dans le modèle

Environ trois quarts des contrats de génération expirent avant leur terme pour les motifs suivants :

- 22% à cause d'une démission du junior ou du senior (parmi ces démissions 80% sont des démissions des juniors). Ceci vient du fait que nous comptons en proportion à peu près autant de démissions d'employés en CG que de démissions d'employés en CDI dans le modèle, car du point de vue du salarié, le CG est vu comme un CDI standard, hormis les bénéfices éventuels de la transmission du capital humain et des augmentations de salaires qui en résultent (intégrées dans le modèle). La part de jeunes en CG à la recherche d'un autre emploi (PARAE) est sensiblement équivalente à celle de la part de jeunes en CDI à la recherche d'un autre emploi (environ 5%).
- 21% à cause d'un départ à la retraite du senior.
- 34% à cause d'un licenciement ou d'une fin de période d'essai du junior ou du senior. Il n'y a en effet aucune mesure dans la loi qui empêche les entreprises de licencier ou de mettre fin à une période d'essai associée à un contrat de génération. Dans le modèle, le taux cumulé des licenciements et des fins de période d'essai des CG est néanmoins inférieur de 8,7% relativement à celui des CDI « standards », car les entreprises prennent en compte la perte de la prime du contrat de génération versée par l'État en cas de rupture du contrat.

Pour déterminer les profils des jeunes qui entrent en CG, nous effectuons 500 simulations avec l'introduction de la mesure à partir de la sauvegarde du modèle en état stationnaire. Pour chaque simulation, nous relevons les identifiants et les caractéristiques des agents individuels âgés de 15 à 26 ans qui entrent en CG la première année du programme, ce groupe est appelé « Groupe bénéficiaire du CG ». Nous relevons en parallèle les caractéristiques d'un groupe de jeunes de la même taille tirés aléatoirement et avec la même distribution d'âge que ce groupe de bénéficiaires, et ce groupe constitue le « Groupe moyen »

La comparaison de ces deux groupes permet de mesurer les écarts de caractéristiques des jeunes qui bénéficient du CG la première année du programme par rapport à l'ensemble de la population du même âge.

	Groupe bénéficiaire du CG	Groupe moyen
Part d'employés/ouvriers	30,2%	64,9%
Part de professions intermédiaires	36,2%	29,2%
Part de cadres	33,6%	5,9%
Capital humain moyen des individus	250	101
Noyau de productivité	0,98	1,0
Alpha	0,31	0,51

TABLE 4 – Moyenne des caractéristiques des deux groupes au moment de l'introduction de la mesure

Nous remarquons que les individus qui entrent en CG ont des niveaux de CSP supérieurs à la moyenne et sont caractérisés par un capital humain plus important. Cela vient du fait que pour passer la norme d'embauche et entrer en CG, les exigences sont les mêmes que pour un CDI, hormis l'effet de la prime qui facilite l'embauche mais n'interdit nullement la sélection. Ces observations sont cohérentes avec les effets d'aubaine importants que l'on mesure dans le modèle et suggère qu'une amélioration de l'impact du contrat de génération pourrait passer par un meilleur ciblage du programme sur les catégories de jeunes les plus vulnérables.

### Analyse de la transmission de compétences sur les parcours individuels

Nous reprenons dans cette étude le *Groupe bénéficiaire du CG* constitué des individus qui ont bénéficié du CG lors de la première année du contrat. Nous analysons les individus de cette cohorte tout au long de leurs carrières avec l'introduction du contrat de génération, puis nous reprenons ces mêmes individus et nous analysons leurs trajectoires dans le cas où le programme du contrat de génération n'est pas introduit. Dans chacune de ces expériences, les agents « partent » du même état initial avec rigoureusement les mêmes valeurs des variables internes grâce au fichier de sauvegarde du modèle (Cf. partie calibrage/initialisation). Nous répétons ce protocole 500 fois, de manière à calculer des écarts statistiques significatifs sur un total de 10 000 trajectoires d'individus.

Cette étude permet de montrer de façon précise l'impact spécifique du programme du CG sur les individus qui en bénéficient pendant la durée du contrat, mais aussi les répercussions tout au long de leurs carrières dues au fait qu'ils ont été plus facilement intégrés en contrat stable sur le marché du travail et ont reçu du capital humain grâce à la formation du senior.

Nous présentons ci dessous les taux d'emploi pendant 20 ans du *Groupe bénéficiaire du CG* dans le cas où le CG n'est pas introduit (courbe en ligne continue) et dans le cas où le CG est effectivement introduit (courbes en pointillé) pour ce même groupe avec différentes efficacités de transmission  $\delta_i$  fixées de manière avoir une transmission d'expérience de 0%, 30% et 60% de l'expérience du senior pour le junior sur les trois ans que dure le programme (Cf. équation 10, 11 et 12) :

### Taux d'emploi de la cohorte bénéficiaire du CG

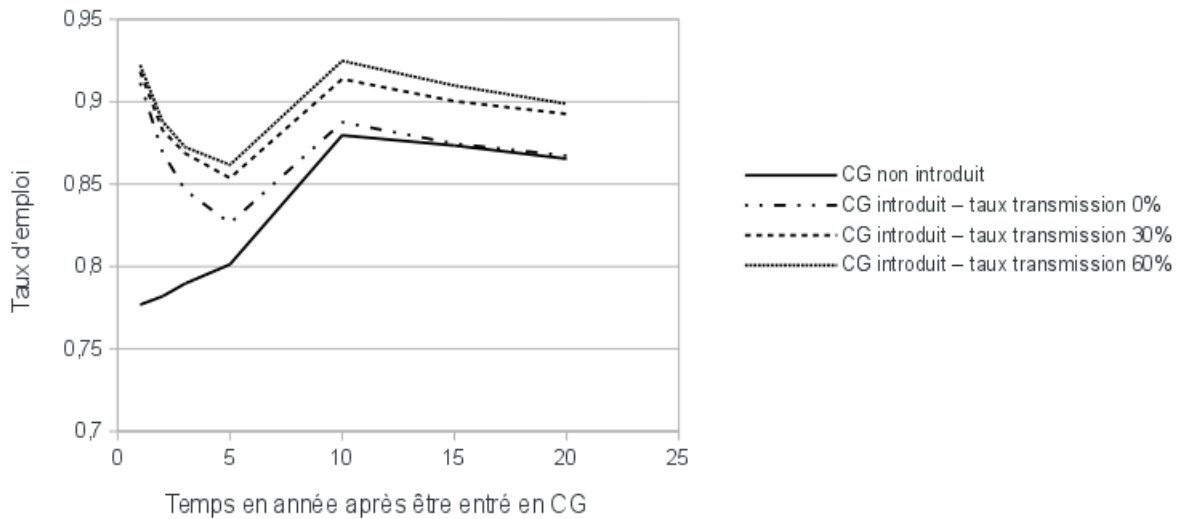


FIGURE 3 – Taux d'emploi du *Groupe bénéficiaire du CG* - Simulations avec et sans CG

L'introduction du CG augmente de manière significative les taux d'emploi du *Groupe bénéficiaire du CG*. Les courbes de taux d'emploi dans le cas où le CG est introduit marquent un creux à 5 ans, car une partie des individus du *Groupe bénéficiaire du CG* sont sortis du CDI qui a bénéficié du CG. Un écart persiste après le programme du CG, ce qui montre l'impact positif du programme tout au long de la carrière pour ces jeunes bénéficiaires du CG. On remarque que plus les jeunes ont reçu d'expérience de la part du senior pendant les trois ans que dure le programme, plus les bénéficiaires du CG perdurent longtemps après la sortie du programme (courbes en pointillé). Toutefois, l'augmentation du taux de transmission dans la plage 30-60% ne semble pas modifier significativement les résultats.

Cette caractérisation quantitative de l'emploi des jeunes qui bénéficient du CG se double d'une amélioration qualitative de leurs emplois, car la part de ces individus en emploi de type CDI s'améliore de façon significative jusqu'à la fin de leurs carrières.

	1 ans	2 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	30 ans
Sans CG	82,4%	85,7%	85,8%	87,4%	90,1%	91,7%	93,4%
Avec CG	96,74%	95,2%	93,6%	93,4%	93,4%	94,5%	95,6%
Ecart	+14,37%**	+9,55%**	+7,73%**	+5,96%**	+3,45%**	+2,83%**	+2,22%**

\*\* Ecart significatif au seuil de 1% du test de Student

TABLE 5 – Part de CDI dans l'emploi des individus du *Groupe bénéficiaire du CG* - Simulations sans CG et avec CG - taux de transmission CG de 30%

### Des effets d'éviction vis à vis des autres jeunes

Nous constituons la cohorte du *Groupe non bénéficiaire du CG* qui comprend les individus de la même génération mais qui ne bénéficient jamais du CG. Nous remarquons que cette cohorte est pénalisée en termes de taux d'emploi par l'introduction du CG, ce qui montre un effet d'éviction du programme sur cette cohorte :



	1 ans	2 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	30 ans
Sans CG	50,7%	58,4%	72,4%	82,8%	82,8%	83,8%	82,6%
Avec CG	50,6%	57,7%	72,1%	82,4%	82,4%	83,4%	82,1%
Ecart brut	-0,1%*	-0,7%**	-0,30%**	-0,4%**	-0,4%**	-0,4%**	-0,5%**

\* Ecart significatif au seuil de 5% du test de Student

\*\* Ecart significatif au seuil de 1% du test de Student

TABLE 6 – Taux d’emploi des individus du *Groupe non bénéficiaire du CG* - Simulation sans CG et avec CG - taux de transmission de 30%

Nous observons par ailleurs dans le modèle des effets négatifs significatifs de l’introduction du contrat de génération sur les critères qualitatifs de l’emploi pour ce *Groupe non bénéficiaire du CG*, au niveau des salaires, de la proportion des CDI dans leurs emplois et du nombre de promotions au cours de leurs carrières notamment.

Ces effets négatifs sur ce *Groupe non bénéficiaire du CG* ne sont cependant pas suffisamment importants pour contrebalancer les effets positifs observés ci-dessus pour le *Groupe bénéficiaire du CG*, comme le montrent les impacts globaux du programme du CG déjà mentionnés.

### Variantes du contrat de génération

Un des facteurs limitant de l’impact du contrat de génération est la durée courte, de 17,5 mois en moyenne, passée par les individus en CG à cause notamment des motifs de fin de période d’essai ou de licenciement personnel qui peuvent provoquer un arrêt du contrat avant sa date d’expiration. En effet, dans la loi rien n’empêche les employeurs de mettre fin au contrat CG si le jeune ou le senior ne sont pas productifs, et la prime de 4 000 euros par an n’est pas toujours suffisante pour les en dissuader. Un mécanisme d’incitation réaliste dans le cadre de la loi pour les amener le plus possible « à jouer le jeu » et à conserver les individus en CG plus longtemps serait donc d’augmenter cette prime associée au contrat. Nous avons donc testé le cas où la prime du contrat de génération versée par les pouvoirs publics serait trois fois plus importante et passerait à 12 000 euros par an et par contrat. Nous observons une augmentation des durées passées en CG, qui passent de 17,5 mois à 21 mois en moyenne. Il y a aussi moins d’effets d’aubaine au moment du recrutement, on passe de 89% à 73%, car cette prime plus importante est maintenant plus décisive pour amener les entreprises à créer des postes qu’elles n’auraient pas pu créer sans l’incitation financière. L’impact sur le chômage est 1,57 fois meilleur avec 52 000 chômeurs en moins au lieu de 33 000 avec le CG « standard ». Cependant le coût du programme est maintenant plus de trois fois supérieur, à cause de l’augmentation de la prime et de l’augmentation des durées passées en contrat de génération. Donc le coût du programme par chômeur évité augmente fortement.

Un autre facteur limitant du contrat de génération que nous avons montré dans cet article est le mauvais ciblage du programme sur des jeunes qui ne sont pas les plus vulnérables. Nous testons donc une variante du contrat de génération réservé uniquement aux jeunes qui sont en chômage depuis plus de 6 mois. Nous remarquons que dans ce cas le contrat de génération a un meilleur impact sur le chômage des jeunes avec 36 000 chômeurs en moins plutôt que 33 000 chômeurs en moins avec le CG « standard », par contre il y a un fort effet d’éviction notamment sur la catégorie des 30-64 ans avec 32 000 chômeurs en plus. Ceci s’explique par le fait que les entreprises ont plus de mal à pourvoir leurs postes en contrat de génération, car les jeunes au chômage depuis plus de 6 mois sont moins employables. Or, nonobstant l’effet de la prime incitative prise en compte par les entreprises, les postes en CG sont caractérisés par des normes d’embauche aussi importantes que pour des CDI « standards ». Donc les difficultés de recrutement en CG s’accroissent et l’ancienneté de vacance des emplois en CG augmente de 1,9 semaine à 8,5 semaines, ce qui a un impact sur l’ensemble des catégories de main

d'oeuvre, car des emplois qui auraient pu être pourvus par les autres catégories d'âge sont « bloqués », en attente de l'embauche des meilleurs parmi ces jeunes au chômage depuis plus de 6 mois. En parallèle, un autre effet négatif apparaît avec cette variante. Il s'agit de la diminution du temps passé en CG qui passe de 17,5 à 13 mois, car ces individus qui étaient au chômage depuis plus de 6 mois sont en moyenne les moins productifs et ils sont donc plus souvent licenciés avant l'expiration du CG. Malgré l'amélioration de l'impact du programme sur les jeunes, l'impact général de cette variante est donc globalement négatif avec une augmentation du taux de chômage global compte tenu du renforcement du chômage frictionnel dans le modèle.

Un autre ciblage du contrat de génération que nous testons dans notre modèle est de réserver le contrat de génération à des salaires proposés proches du SMIC. Avec cette variante, nous observons que plus on diminue le plafond de salaire d'éligibilité, moins il y a de chômeurs dans la catégorie des 15-29 ans (-50 000 lorsque le plafond est de 1,2 SMIC), mais plus il y a de chômeurs dans la catégorie des 30-64 ans (+16 000). On trouve un renforcement des effets d'éviction, ce qui fait qu'on ne mesure pas d'amélioration significative du rendement du programme au niveau global.

En effet, les coûts de licenciement rendent peu rentables les recrutements en CDI à des salaires proches du SMIC. Les entreprises, du fait de leur norme d'embauche, voient donc augmenter l'ancienneté moyenne des postes vacants en CG (qui passe de 1,9 à 5,7 semaines avec un seuil à 1,2 SMIC), et donc le taux de vacance général des emplois (qui passe de 4,72% à 4,80%). Cette augmentation du taux de vacance induit une augmentation du chômage frictionnel dans le modèle qui pénalise toutes les catégories de main d'oeuvre.

Par ailleurs, avec cette restriction du CG sur les bas salaires, nous remarquons un effet de « trappe à bas salaire » avec une destruction des postes qualifiés au profit de postes moins qualifiés. Ainsi lorsqu'on passe d'un CG sans plafond à un CG avec un plafond à 1,2 SMIC, il y a au niveau global 15 000 emplois d'employés/ouvriers en plus, pour 12 000 postes de professions intermédiaires en moins et 2 000 postes de cadres en moins (rappelons que les professions intermédiaires et les cadres ne diffèrent des employés/ouvriers que par leurs niveaux de productivité dans le modèle).

## CONCLUSION

Cet article a présenté un nouveau modèle multi-agents du marché du travail français qui est un outil d'une grande flexibilité parce qu'il intègre à la fois les comportements des entreprises et ceux des individus, en considérant par ailleurs leur hétérogénéité, innée et acquise. Les phénomènes de concurrence entre catégories de main-d'oeuvre, mais aussi entre entreprises sur le marché du travail, sont ainsi pris en compte avec leurs conséquences en termes d'effets d'éviction. Par ailleurs les individus sont rattachés à des ménages, de manière à reproduire la dynamique démographique ainsi que les interactions entre membres d'un même ménage causées par des revenus mis en commun. Cette démarche est nécessaire pour rendre compte d'un certain nombre de flux entre l'inactivité et les autres états. Plus généralement les interactions entre agents se déroulent dans les contraintes assez précisément modélisées des institutions du marché du travail (droit du travail français notamment), et engendrent les flux bruts entre les différents états, emploi, chômage et inactivité. Institutions et décisions en interaction permettent une analyse fine du marché du travail.

Les limites de place nous ont conduits à ne présenter que quelques unes des caractéristiques du fonctionnement du marché du travail français. Les résultats du modèle montrent qu'une partie des individus alternent entre CDD et chômage, et que ce phénomène est plus marqué chez les jeunes. Des analyses systématiques des trajectoires sur toute la carrière professionnelle seraient toutefois nécessaires pour préciser pour qui (et avec quelle intensité) les CDD sont des trappes à précarité et pour qui ils sont des tremplins. Le suivi de cohortes sur le CG donne un aperçu des possibilités du modèle.

La simulation ex-ante du CG apporte un certain nombre de résultats qui reproduisent certaines des

anticipations sur ses effets qui ont mené à sa mise en place (Assemblée-Nationale, 2012). En premier lieu les entreprises dans le modèle utilisent le dispositif pleinement jusqu'au plafond fixé par les pouvoirs publics de 500 000 signatures de contrats. Il a aussi un effet de diminution du chômage des jeunes. Toutefois cet effet est petit (de l'ordre de 0,38 point de chômage). L'effet sur le chômage des seniors est encore beaucoup plus faible (0,03 point). Ces effets n'avaient pas fait l'objet d'une prédiction dans l'étude d'impact mais l'ambition de la loi laissait présager un effet substantiel. Les effets d'aubaine sur l'embauche des jeunes sont en effet de près de 90%, ce qui ne semblait pas envisagé. Par contre nous montrons par un protocole proche d'une expérience naturelle que le CG améliore durablement le parcours professionnel des bénéficiaires, en taux d'emploi mais aussi en qualité d'emploi (plus de CDI et moins de CDD), ce qui était une ambition du programme. En outre, le coût total demeure proche du coût anticipé, et surtout le coût brut (18 925 euros) et le coût net par chômeur évité (4 273 euros) sont inférieurs au coût des systèmes d'allègement de charge, qu'ils soient calculés dans le modèle ou par d'autres méthodes.

Toutefois notre protocole permet aussi de montrer qu'un effet d'éviction touche les jeunes non bénéficiaires du CG ainsi que les adultes, sans annuler l'effet total. En l'absence d'effets de bouclage sur la demande, il est permis d'assigner une partie de l'effet positif à la conséquence de la transmission de capital humain par les seniors aux juniors, dimension qui pourrait être moins affectée par des effets d'éviction que la subvention à l'embauche du CG. La novation du CG par rapport aux autres contrats aidés contribuerait alors substantiellement à l'apport positif prédit par le modèle.

Pouvait-on améliorer les effets du CG sur le chômage, pour le taux de recours maximal prévu par le programme ? Les nombreuses variantes que nous avons explorées incitent à la négative. En particulier, le recentrage sur les catégories de jeunes les plus vulnérables (chômeurs de plus de 6 mois par exemple) montre que les entreprises sont réticentes à embaucher ces jeunes en CDI et promptes à les licencier. Le centrage autour du SMIC entraîne de forts effets d'éviction sur d'autres catégories de main-d'œuvre et ne valide pas les propositions de les réserver aux salaires au dessous de 1,6 fois le SMIC (Cahuc, P., Charlot, O. et Malherbet, F., 2013; Allègre, G., Cochard, M. et Plane, M., 2012). Cependant, la plupart des contrats ne vont pas à terme, et toute mesure incitant à ne pas sortir du contrat avant son terme aurait un effet positif. Des simulations non présentées ici, supposant que les CG vont à leur terme, pour le même niveau de prime que dans la loi, ont montré que le nombre de chômeurs évités augmente alors et que le coût brut par chômeur évité baisse substantiellement.

La méthode de modélisation multi-agents nous a permis dans le cas spécifique du CG de prendre en compte (et conjointement dans un cadre comptable cohérent en termes de flux) des effets essentiels mais difficiles à notre connaissance à modéliser par d'autres méthodes, à savoir la transmission d'expérience du senior au junior, et les effets d'éviction, tant au niveau des effets agrégés qu'au niveau des trajectoires individuelles. Il offre ainsi une méthode de modélisation des interdépendances qui répond à la demande implicite de l'étude d'impact (Assemblée-Nationale, 2012) qui remarque que les prédictions requièrent la prise en compte des interactions. Il a permis ainsi de rendre endogène la durée du contrat, et de montrer qu'elle est plus faible que la durée prévue, minorant d'autant son effet positif. Le modèle a donc un fort potentiel pour étudier des politiques de l'emploi, et plus généralement des politiques économiques et sociales, ainsi que des modifications dans les comportements.

## Annexe A - Processus démographiques

Nous avons choisi de rechercher un état stationnaire du modèle. Par conséquent, nous souhaitons supprimer tout impact démographique sur nos simulations, ce qui nous conduit à intégrer quelques éléments sur la démographie réelle, sans pour autant viser à intégrer un modèle démographique réaliste dans WorkSim.

### Évolution des statuts matrimoniaux au sein des ménages

Dans WorkSim, nous avons 6 statuts matrimoniaux différents : enfant d'un couple, enfant d'une famille monoparentale, adultes d'un couple sans enfant, adultes d'un couple avec enfant(s), adultes d'une famille monoparentale, personnes seules. Les probabilités de passage à chaque période entre ces classes sont calculées à partir du tableau de la répartition de la population des ménages par sexe, âge et mode de cohabitation en 2011 (INSEE, 2011b)<sup>15</sup>. Notons que ces probabilités de transitions sont calculées de manière à conserver les stocks d'individus de 2011 dans chaque état, lorsque les agents vieillissent. Ce ne sont pas les flux réels de transition de l'année 2011 qui auraient tendance à déformer la répartition des individus entre les états au cours de la simulation. Le modèle évolue en population fermée donc les agents s'unissent entre eux pour constituer des ménages, les enfants de plus de 15 ans qui ont le statut « enfant d'un couple » font partie d'un ménage, lorsque ces mêmes enfants quittent leur parents, ils constituent un nouveau ménage, etc... Dans ce modèle en population fermée, les revenus d'un membre du ménage sont intégrés dans le calcul de l'utilité des autres membres du ménage, donc influent sur leurs décisions.

### Départs anticipés en préretraite

A chaque période, les individus de plus de 50 ans ont une probabilité *ProbaPreretraite* de partir en préretraite. Cette probabilité de départ en préretraite dépend de l'âge de l'individu. Elle est estimée d'après les taux d'activité des seniors par âge en 2011 (DARES, 2012a). Au moment de ce départ en préretraite, on calcule une pension du retraité qui entrera en compte dans les calculs d'utilité des autres agents qui composent son ménage. On fait l'hypothèse qu'elle est la même pour tout les agents et égale à 75% du salaire des 25 dernières années et en comptant les retraites complémentaires) et 75% du salaire des 6 derniers mois dans le public.

### Entrées et sorties dans la simulation

Dans la mesure où nous souhaitons obtenir un état stationnaire du modèle, nous devons garder constant le nombre d'agents. C'est pourquoi entrées et sorties correspondent uniquement au remplacement des agents qui quittent le marché du travail à un instant donné. A 65 ans les agents prennent leur retraite et ne sont plus des agents « à part entière ». Ils restent cependant dans la simulation en tant qu'agent « non-instancié » dans leur ménage, car leur revenu est compté dans le calcul de l'utilité des autres agents de leur ménage. Quand un individu employé part à la retraite, le poste qu'il occupait devient vacant. On instancie un nouvel agent âgé de 15 ans dans la simulation.

### Décès et sorties des ménages

Les individus sortent définitivement de leur ménage lorsqu'ils décèdent à l'âge de 73.55 ans pour les hommes et 81.1 ans pour les femmes, ce qui correspond l'âge moyen des décès par sexe en 2011 (INSEE, 2011a).

---

15. Il n'y a pas actuellement d'homogamie, mais c'est une extension que nous considérons pour le futur.

## Annexe B - Résultats de la calibration du modèle

	Ensemble	15-24 ans	25-49 ans	50-64 ans	Cadres	Prof. Inter	Employés/Ouvriers
Sorties de WorkSim	9,25	23,8	8,2	6,0	4,2	5,8	12,4
Source INSEE	9,2	22	8,4	6,3	3,8	5,0	11,4

TABLE 7 – Cibles sur les taux de chômage par âge et par catégories socio-professionnelles

	Hommes			Femmes		
	15-24 ans	25-49 ans	50-64 ans	15-24 ans	25-49 ans	50-64 ans
Sorties de WorkSim	46,9	99,8	73,1	25,8	78,2	58,7
Source INSEE	41,6	94,4	62,2	34,9	83,9	55,2

TABLE 8 – Cibles sur les taux d'activité par âge et par sexe

	Cadre				
	<30 ans	30-39 ans	40-49 ans	50-59 ans	>60 ans
Sorties de WorkSim	2018	2611	3603	4186	4477
Source INSEE	2200	3192	4026	4295	5659
Professions intermédiaires					
Sorties de WorkSim	1986	2106	2232	2288	2317
Source INSEE	1532	1791	1983	2091	2273
Employés/Ouvriers					
Sorties de WorkSim	1076	1098	1177	1256	1308
Source INSEE	1173	1313	1378	1447	1463

TABLE 9 – Salaires mensuels nets par âge et par catégories socio-professionnelles

	1er Décile	1er Quartile	Médiane	3ème quartile	9ème décile
Sorties de WorkSim	13936	14260	20226	29808	40929
Source INSEE	14040	15660	20110	27350	39810

TABLE 10 – Distribution des salaires nets annuels

	Entrées en emploi					
	Entrée	Entrée en CDD	Entrée en CDI			
Sorties WorkSim	44,4	35,6	8,8			
Source DMMO	51,0	40,0	11,1			
Sorties de l'emploi						
	Sortie	Fin de CDD	Démission	Fin de période d'essai	Lic. eco.	Autres lic.
Sorties WorkSim	41,4	26,7	5,3	2,7	0,13	4,9
Source DMMO	49,4	35,2	6,5	2,0	0,5	3,2

TABLE 11 – Taux de rotation de la main d'oeuvre

	15-24 ans	25-49 ans	50-64 ans
Sorties de WorkSim	27,1	42,7	41,9
Source INSEE	28,4	41,9	57,8

TABLE 12 – Proportion des chômeurs de long terme par âge

	Part de temps partiel dans l'emploi total	Taux d'emplois vacants	Taux de PARAE
Sorties de WorkSim	18,0	4,7	3,4
Source INSEE/COE	17,9	5,0	4,3

TABLE 13 – Cibles complémentaires

## Annexe C - Paramètres calibrés du modèle

Paramètre	Description	Valeur Calibrée
$\alpha_0$	Moyenne du facteur de base de préférence pour le temps libre des individus	0,278
$\alpha_{age}$	Incrément du facteur de préférence pour le temps libre chaque année pour un individu	0,00355
$\alpha_{enfant1}$	Paramètre de sensibilité de la préférence pour le temps libre des femmes en fonction du nombre d'enfants du ménage	1,151
$\alpha_{enfant2}$	idem	0,572
$\alpha_{jeuneFemme}$	paramètre spécifique de sensibilité de la préférence pour le temps libre des femmes de moins de 25 ans au nombre d'enfants du ménage	2,13
$ICHANG$	coefficient minimum par lequel l'utilité doit être multipliée pour compenser le coût psychologique d'un changement d'état volontaire	1,170
$SeuilProfit$	Seuil de rentabilité en dessous duquel l'entreprise envisage un licenciement économique	-1,59%
$\sigma_D$	Volatilité de la demande de chaque entreprise	$6,49 * 10^{-4}$
$PrPerteXP$	Pourcentage de perte d'expérience générale chaque semaine après 6 mois passés hors de l'emploi	$2,82 * 10^{-4}$
$UtilitéContrat$	Paramètre de base qui entre dans le calcul la préférence pour la stabilité d'un contrat	184
$sensiStabAge$	Facteur de sensibilité à l'âge dans la préférence pour la stabilité d'un contrat	$7,19 * 10^{-4}$
$N_1$	paramètre qui entre dans le calcul de la norme d'embauche	0,39
$N_3$	paramètre qui entre dans le calcul de la norme d'embauche	$1,37 * 10^{-5}$
$N_4$	paramètre qui entre dans le calcul de la norme d'embauche	0,021
$ParamUTRES_1$	paramètre qui entre dans le calcul de l'utilité de réservation	0,968
$ParamUTRES_3$	paramètre qui entre dans le calcul de l'utilité de réservation	2,26
$\zeta$	part prise par la firme sur la productivité en valeur de ses salariés	0,603
$P$	prix du bien dans l'économie	1,693
$probaCadre$	probabilité de tirer un niveau de CSP cadre au moment de la création d'un poste	0,24
$probaPI$	probabilité de tirer un niveau de CSP profession intermédiaire au moment de la création d'un poste	0,205
$\beta_{Cadre}$	Facteur d'augmentation du capital humain général avec l'expérience des postes de cadre	$8,35 * 10^{-4}$
$\beta_{PI}$	Facteur d'augmentation du capital humain général avec l'expérience des postes de profession intermédiaire	$2,09 * 10^{-4}$
$\beta_{EO}$	Facteur d'augmentation du capital humain général avec l'expérience des postes d'employé/ouvrier	$1,46 * 10^{-4}$
$\lambda_{Cadre}$	Facteur d'augmentation du capital humain spécifique avec l'expérience sur le poste pour les cadres	$1,65 * 10^{-5}$
$\lambda_{PI}$	Facteur d'augmentation du capital humain spécifique avec l'expérience sur le poste pour les professions intermédiaires	$6,62 * 10^{-7}$
$\lambda_{EO}$	Facteur d'augmentation du capital humain spécifique avec l'expérience sur le poste pour les employés/ouvriers	$2,67 * 10^{-9}$

Paramètre	Description	Valeur Calibrée
$\sigma_{nProd}$	Ecart type de la distribution des noyaux de productivité des individus	0,105
$\sigma_0$	Ecart type initial de l'estimation de la productivité des salariés par les entreprises	0,042
$probaCDD_{Cadre}$	Probabilité de tirer un contrat CDD au moment de la création d'un poste de cadre	0,231
$probaCDD_{PI}$	Probabilité de tirer un contrat CDD au moment de la création d'un poste de profession intermédiaire	0,697
$probaCDD_{EOr}$	Probabilité de tirer un contrat CDD au moment de la création d'un poste d'employé/ouvrier	0,956
$Q_{Cadre}^{base}$	Productivité moyenne de base des postes de cadre	705,1
$Q_{PI}^{base}$	Productivité moyenne de base des postes de profession intermédiaire	692,8
$Q_{EmployéOuvrier}^{base}$	Productivité moyenne de base des postes d'employé/ouvrier	304,8
$SeuilEmploy$	Seuil d'employabilité au delà duquel les individus se considèrent employables	20,8
$ProbaCDD_{1semaine}$	Probabilité de tirer une durée d'une semaine au moment de la création d'un contrat CDD	0,631
$ProbaCDD_{1mois}$	Probabilité de tirer une durée d'un mois au moment de la création d'un contrat CDD	0,331
$ProbaCDD_{2mois}$	Probabilité de tirer une durée de 2 mois au moment de la création d'un contrat CDD	0,001
$ProbaCDD_{6mois}$	Probabilité de tirer une durée de 6 mois au moment de la création d'un contrat CDD	0,0278
$ProbaCDD_{12mois}$	Probabilité de tirer une durée de 12 mois au moment de la création d'un contrat CDD	0,0102

## Annexe D - Comparaison des taux de rotation par âge WorkSim/Dares

	Sorties simulées WorkSim				Source : Dares, DMMO/EMMO			
	Ensemble	< 30	30 à 49	> 50	Ensemble	< 30	30 à 49	> 50
Taux de rotation	42,9	100,7	26,7	28,8	50,2	109,7	36,3	26,0
Taux d'entrée	44,4	108,7	27,2	26,9	51,0	115,0	36,6	23,7
Taux d'entrée en CDD	35,6	94,3	20,1	19,3	40,0	92,1	27,5	19,2
Taux d'entrée en CDI	8,8	14,5	7,1	7,7	11,1	23,0	9,1	4,6
Taux de sortie	41,4	92,8	26,0	30,6	49,4	104,3	36,0	28,2
Taux de sortie pour fin de CDD	26,7	73,6	14,8	13,1	35,2	79,2	24,6	17,9
Taux de démission	5,3	8,5	4,5	4,7	6,5	13,9	5,4	2,2
Taux de fin de période d'essai	2,7	3,9	2,3	2,5	2,0	4,9	1,4	0,6
Taux de licenciement économique	0,13	0,19	0,10	0,11	0,5	0,4	0,5	0,6
Taux d'autres lic. (+rupture conv.)	4,9	6,5	4,3	4,7	3,2	4,3	3,1	2,5

TABLE 14 – Comparaison des taux de rotation par âge WorkSim/Dares

## References

- Adams, J. (1963). Towards an understanding of inequity. *Journal of abnormal and social psychology*, 67(5).
- Allègre, G., Cochard, M. et Plane, M. (2012). Quels effets du "contrat de génération" sur l'emploi et les finances publiques? *OFCE/Prévisions*.
- Assemblée-Nationale (2012). Projet de loi portant création du contrat de génération. étude d'impact.
- Auger, H. (2012). Addressing numerical black-box optimization : Cmae-es. *LION 6, January 16-20, Paris, France*.
- Ballot, G. (1981). *Marché du travail et dynamique de la répartition des revenus salariaux. Thèse pour le doctorat d'Etat d'Economie, Université Paris X-Nanterre*. PhD thesis.
- Ballot, G. (1988). Concurrence entre catégories de main-d'Oeuvre et fonctionnement du marché du travail : l'expérience du modèle ARTEMIS. *Ministère d'Etat chargé du Plan et de l'Aménagement*



du Territoire et Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Formation professionnelle, Structures du marché de travail et politiques, Paris : Syros, page 224–240.

- Ballot, G. (2002). Modeling the labor market as an evolving institution : model artemis. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 49(1) :51–77.
- Barlet, M., Blanchet, D. et Le Barbanchon, T. (2009). Microsimulation et modèles d'agents ; une approche alternative pour l'évaluation des politiques d'emploi. *Economie et Statistique*, pages 429–430, 51–76.
- Bunel, M. (2007). *Analyser la relation entre CDD et CDI : emboitement et durée des contrats*. Centre d'études de l'emploi.
- Cahuc, P., Charlot, O. et Malherbet, F. (2013). L'emploi des jeunes peu qualifiés en France. *CAE*, (4).
- DARES (Juillet 2012a). Emploi et Chômage des 55-64 ans en 2011. *DARES Analyses*, (049).
- DARES (Octobre 2012b). Les mouvements de main-d'oeuvre en 2011. *DARES Analyses*, (71).
- Doeringer, P. B. and Piore, M. J. (1985). *Internal Labor Markets and Manpower Analysis*. M.E. Sharpe.
- Drago, R. and Turnbull, G. K. (1988). Individual versus group piece rates under team technologies. *Journal of the Japanese and International Economies*, 2(1) :1–10.
- Ferber, J. et Perrot, J.-F. (1995). *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*. InterEditions.
- Garoche, B. et Goin, A. (2014). Les accords et plans d'action relatifs au contrat de génération. *DARES Analyses*.
- Hansen, N. and Ostermeier, A. (2001). Completely derandomized self-adaptation in evolution strategies. *Evolutionary computation*, 9(2) :159–195.
- Holmstrom, B. and Milgrom, P. (1991). Multitask principal-agent analyses : incentive contracts, asset ownership, and job design. *J. Law Econ. Org.*, page 24–52.
- INSEE (2011a). Décès par sexe, année de naissance, âge et état matrimonial. *Insee. Statistiques d'état civil sur les décès*.
- INSEE (2011b). Population des ménages par sexe, âge et mode de cohabitation en 2011. *INSEE : recensement de la population française en 2011*.
- INSEE (2011c). Taux d'activité selon le sexe et la configuration familiale en 2011. *Enquête Emploi*.
- Jovanovic, B. (1979). Job matching and the theory of turnover. *The Journal of Political Economy*, page 972–990.
- Lewkovicz, Z., Domingue, D. et Kant, J.-D. (2009). An agent-based simulation of the French labour market : studying age discrimination. *ESSA 2009, European Social Simulation Association Conference, Guilford, UK*, 21.
- Mortensen, D. T. and Pissarides, C. A. (1994). Job creation and job destruction in the theory of unemployment. *Review of Economic Studies*, 61(3) :397–415.
- Neugart, M. (2008). Labor market policy evaluation with ACE. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 67(2) :418–430.
- Neugart, M. and Richiardi, M. G. (2012). Agent-based models of the labor market. LABORatorio R. Revelli Working Papers Series 125, LABORatorio R. Revelli, Centre for Employment Studies.
- Nouveau, C. et Ouliac, B. (2012). Les allègements de cotisations sociales patronales sur les bas salaires en France de 1993 à 2009. *Trésor-Eco*, (97).
- Omicini, A., Ricci, A., and Viroli, M. (2008). Artifacts in the A&A meta-model for multi-agent systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 17(3) :432–456.

- Orcutt, G. H. (1957). A new type of socio-economic system. *The review of economics and statistics*, pages 116–123.
- Phelps, E. (1970). *Microfoundations of employment and inflation theory*. Macmillan, London.
- Pries, M. and Rogerson, R. (2005). Hiring policies, labor market institutions, and labor market flows. *Journal of Political Economy*, 113(4) :811–839.
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The quarterly journal of economics*, 69(1) :99–118.
- Stigler, G. J. (1962). Information in the labor market. *The Journal of Political Economy*, 70(5) :94–105.
- Tesfatsion, L. (2002). Agent-based computational economics : Growing economies from the bottom up. *Artificial Life*, 8 :55–82.