

NumJobs

Evaluer l'impact du numérique sur l'économie et l'emploi à l'aide d'une simulation multi-agents

Jean-Daniel KANT (UPMC-Paris 6 / LIP6) et Gérard BALLOT (Univ. Paris 2 / CRED)

Contact : Jean-Daniel Kant Jean-Daniel.Kant@lip6.fr - 06 87 67 27 78

Enjeux et objectifs

Les innovations numériques prennent une place de plus en plus importante dans nos économies et nos sociétés. Numérisation, automatisation, robotisation, essor de l'intelligence artificielle, autant de mouvements et de facteurs qui constituent la révolution numérique, souvent fondée sur des innovations de rupture, au point que l'on évoque une quatrième révolution industrielle. Une révolution qui se déploie au delà de l'industrie pour toucher le secteur tertiaire, les services.

La question (ou crainte selon les points de vue) centrale concernant ces innovations numériques est celle de l'impact sur l'emploi. Sont-elles des sources de création d'emplois, ou vont-elles entraîner des destructions – éventuellement massives – d'emplois ? Si création d'emplois il y a, s'agit-il de nouveaux métiers ? Et quels sont ceux qui seraient menacés de destruction ? Au delà de la question des créations ou destructions, cette révolution numérique va-t-elle modifier la nature du travail, les conditions de travail, la place du travail dans la vie des individus et la société ?

Ainsi on voit bien que la question de l'impact du numérique sur l'emploi concerne à la fois l'économie, mais aussi toute la société. Certes, la question de l'impact du progrès technique sur l'emploi n'est pas nouvelle. D'une part parce que le marché du travail est fortement dynamique, des milliers d'emplois sont détruits et créés chaque jour. D'autre part, le progrès technologique se décline selon deux directions distinctes, mais qui peuvent être simultanées. La première direction est celle de *l'innovation des procédés de production*. Il entraîne alors des gains de productivité dans les entreprises utilisatrices pouvant conduire à des pertes nettes d'emploi, mais les nouveaux procédés demandent aussi la production de nouveaux biens d'équipement, et donc des créations d'emplois.

La seconde direction est celle de *l'innovation de produit*, qui suscite une demande nouvelle porteuse de créations d'emplois. Dans certains cas le produit nouveau se substitue à un produit existant qui disparaît, et cela peut amoindrir la création d'emplois. L'innovation de produit peut donc engendrer une augmentation nette des emplois, et d'autant plus que le produit nouveau suscite un nouveau marché (téléphone portable, drones...).

Les innovations prises dans leur ensemble **entraînent donc à la fois des destructions d'emplois existants et des créations de nouveaux emplois**, des créations et destructions d'entreprises. Les innovations de biens d'équipement et de consommation correspondant à de nouveaux secteurs, qualifiables **d'innovations de rupture**, suscitent elles-mêmes de nombreuses innovations (on parle d'une **vague d'innovations**) qui sont potentiellement des moteurs de création de richesse par diffusion de pouvoir d'achat aux autres secteurs de l'économie. Elles ont toutefois des effets destructeurs sur *certain types d'emploi*.

La **question centrale** que notre projet se propose d'aborder est de **savoir si le numérique propose des innovations, du progrès technologique, comme pour les précédentes révolutions industrielles, c'est-à-dire avec essentiellement des effets de productivité, ou si le changement est plus profond pour le travail et donc l'emploi.**

Pourquoi les études actuelles sont insuffisantes ?

Cette question fait l'objet d'un grand intérêt ces dernières années et plusieurs études ont cherché à mesurer l'impact du numérique sur l'emploi. La première est celle de Frey & Osborne (2013) qui estime que 47% des emplois au USA et 35% au Royaume Uni ont une probabilité élevée d'automatisation d'ici 20 ans. Appliquée au cas français, on obtient 42% d'emplois à risque (Roland Berger, 2014). Cependant ces études portent sur les métiers, alors qu'une *analyse* – plus fine – *par tâches* est nécessaire pour rendre compte de l'hétérogénéité des activités professionnelles. Une étude de l'OCDE (Arntz et al., 2016) fondée sur une approche par tâches mais agrégée (pas de résultats au niveau individuel) considère le risque à 9% des emplois (pour les USA et en moyenne dans 21 pays de l'OCDE), tandis qu'une autre de France Stratégie (Le Ru, 2016) se fonde sur une enquête DARES sur les conditions de travail et estime le risque à 15%.

Un rapport récent du COE (Conseil d'Orientation pour l'Emploi) fait la synthèse de ces études (COE, 2017) et souligne à juste titre leurs limites. Elles se focalisent sur la destruction potentielle d'emplois dues à la numérisation et l'automatisation, mais ne permettent pas de mesurer les opportunités de créations liées à ces technologies. Elles se fondent sur les technologies actuelles, et ne prennent pas en compte l'évolution des innovations. Les freins sociaux, institutionnels et économiques qui peuvent limiter l'automatisation ne sont pas pris en compte. Le COE propose sa propre étude en se basant sur l'enquête conditions de travail de la DARES, afin de travailler au niveau des conditions individuelles de travail, et s'intéresse également aux emplois susceptibles d'évoluer (pas seulement leur disparition). Leur conclusion pour la France est que 10% des emplois existants sont menacés (souvent des métiers peu ou pas qualifiés), et que la moitié de ces emplois est susceptible d'évoluer de manière importante.

Ces études mettent en l'évidence la difficulté du sujet. Selon la méthode, elles conduisent à des résultats assez différents, même si les dernières semblent converger vers un risque de disparition des emplois entre 9% et 15%, et 50% des emplois qui seraient concernés par des changements pouvant être profonds. Aucune de ces études ne donne l'impact sur le chômage. Concernant la possibilité d'évolution des emplois, le COE donne des résultats sur les métiers, mais pas sur leur contenu (tâches). Par ailleurs, les études sont statiques, en ce sens qu'elle ne sont pas capables d'étudier l'évolution de ces innovations. Enfin, **ces études prennent compte essentiellement le point de vue des individus** (conditions de travail) **et pas celui des entreprises** (notamment leur organisation, leur stratégie, les contraintes économiques, etc.).

Notre approche

Notre analyse est qu'il manque **un outil permettant de modéliser et simuler l'impact des innovations numériques sur l'emploi et le travail**. Cet outil permettra de :

- **Simuler l'impact d'une technologie sur le travail** (organisation, tâches,...) **et l'emploi** (créations de nouveaux emplois, destructions, chômage,...)
- Prendre en compte **tous les éléments du marché du travail, avec ses 2 côtés : individus et entreprises**
- Prendre en compte **tous les aspects économiques**, grâce à un bouclage macroéconomique du marché du travail
- Modéliser les **processus d'innovation** (de procédés et de produits), via une compétition entre les entreprises, afin de restituer la **dynamique des innovations numériques**, et mesurer l'évolution de leur impact dans le temps

Fort de notre d'expérience de plus de 10 ans dans le domaine de la simulation à l'aide de systèmes multi-agents¹ appliquée au marché du travail et à l'innovation, nous pouvons maintenant proposer une méthode pour construire avec succès un tel outil.

Nous proposons de baser cet outil sur 2 modèles éprouvés de simulation multi-agents que nous avons développés depuis plusieurs années :

- **WorkSim** (<http://worksim.lip6.fr>) est un **modèle multi-agents du marché du travail**, créé par J.-D. Kant et G. Ballot, et appliqué à la France. Ces agents (individus et entreprises) prennent des décisions qui sont basées sur les analyses microéconomiques les plus récentes, mais en tenant compte du fait que leur rationalité est limitée dans un monde complexe². Par exemple la décision pour une entreprise de créer ou non un nouveau poste, en CDD ou en CDI, suivant la demande ; ou la décision pour un chômeur de postuler ou non à une offre d'emploi, ou de quitter le marché du travail. WorkSim est à l'échelle de 1/2300^{ème} environ et calibré sur plus d'une centaine de données réelles (venant de l'INSEE, de la DARES, etc.) Il reproduit les faits stylisés importants du marché du travail français et fait l'objet de plusieurs publications dans des revues scientifiques internationales (e.g. Goudet et al., 2016). Il nous a déjà permis de réaliser la première évaluation quantitative ex-ante de la récente loi travail « El Khomri » et de plusieurs autres politiques du marché du travail (allègement de charges, contrat de génération, etc.).
- Un **modèle multi-agents de croissance endogène** avec des firmes multiples en compétition pour étudier la **dynamique d'innovation** en nouveaux biens de consommation et en qualité pour chacun de ces nouveaux biens (permettant des activités qui n'existaient pas, et avec des innovations de procédé associées), développé par G. Ballot (e.g. Ballot & Huynh, 2016). Certains biens peuvent disparaître cependant du fait de la contrainte de budget des consommateurs qui préfèrent les activités nouvelles. Les qualités élevées éliminent des qualités faibles quand le niveau de vie augmente de manière endogène, les travailleurs-consommateurs étant aussi représentés individuellement. Le modèle de production repose sur un triplet: compétences (pour la R&D, pour produire), tâches (organisation du travail) et alliances en R&D entre entreprises, qui sont une source de diffusion et d'accumulation des compétences. En outre pour la première fois un modèle computationnel de l'innovation est bouclé par une concurrence endogène des entreprises qui se positionnent sur un marché différencié (et dynamique) en biens et en qualités, mais peuvent aussi faire faillite. Le caractère plus ou moins oligopolistique de chaque marché émerge en même temps qu'un état macroéconomique de croissance de long terme.

Ainsi nous proposons avec l'outil NumJobs de **combinaison un modèle détaillé du marché du travail couplé avec un modèle de dynamique d'innovation multi-firmes**. Cet outil – unique au monde – **simulera comment les innovations de produit et de procédé associées apparaissent, comment elles impactent le travail** tout d'abord en termes de compétences et de tâches nécessaires pour la production de ces innovations numériques, **l'emploi** (créations ou destructions de postes, recrutements, chômage, ...) puis au **niveau macroéconomique**.

¹ Un **système multi-agents** est un concept issu de l'intelligence artificielle distribuée. Il est composé d'un grand nombre d'agents informatiques en interaction, afin de modéliser à la fois des comportements individuels (en donnant aux agents des comportements cognitifs variés) et collectifs (qui émergent des interactions). On peut les utiliser pour étudier et simuler des systèmes économiques (e.g. Tesfatsion & Judd, 2006 ; voir aussi <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>) et sociaux (e.g. Gilbert & Troitzsch, 2005 ; voir aussi <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS.html>).

² Cette complexité implique qu'un agent ne peut pas calculer la décision optimale, mais peut parfois apprendre de ses erreurs.

Cet outil sera **flexible** et mettra l'accent sur la **dynamique** afin de prendre en compte :

- l'évolution des innovations numériques ;
- l'évolution des métiers, en modifiant les compétences demandées et les tâches associées aux emplois ;
- l'organisation des entreprises, leurs stratégies (d'innovation, de recrutement).

Il permettra pour la première fois d'**intégrer** et de rendre compte de **la plupart des facteurs** invoqués par les études **sur l'impact de la numérisation et l'automatisation sur l'emploi** :

- dynamique des innovations, transformation du contenu des métiers, création des nouveaux emplois, adaptation des agents à la technologie ;
- facteurs socio-démographiques (démographie, éducation), formation (rôle et impact) ;
- microéconomie : offre et demande (dualité travail - consommation), production, plusieurs secteurs, organisation du travail ;
- macroéconomie : effets de court-terme, bouclage à long terme ;
- environnement : droit du travail, institutions, conjoncture économique.

Ce projet ambitieux tirera partie des complémentarités et de la pluridisciplinarité qui nous ont permis de construire avec succès le simulateur WorkSim. Gérard Ballot est un spécialiste reconnu de l'économie du travail et de l'innovation, et un pionnier de la simulation à base d'agents pour le marché du travail³. Il a aussi l'expérience d'un modèle à base d'agents alliant micro et macroéconomie (MOSES). Jean-Daniel Kant est informaticien, chercheur en intelligence artificielle, et connaît bien les innovations numériques. Il poursuit depuis 15 ans une recherche pluridisciplinaire (alliant l'informatique, les mathématiques, l'économie et les sciences humaines et sociales), et est un spécialiste de la simulation multi-agents en économie⁴.

Déroulement du projet

A priori, nous commencerons par concevoir un modèle pour la France, pour laquelle WorkSim est développé. Le modèle pourra être étendu à d'autres pays par la suite.

Pour mener à bien ce projet, nous avons identifié les phases principales suivantes :

[WP1] Extension de WorkSim

Il s'agit d'étendre les fonctionnalités de WorkSim pour répondre aux besoins de NumJobs :

- Différenciation des secteurs avec l'ajout de plusieurs secteurs représentatifs de l'économie numérique (incluant l'IA, la robotique,...)
- Définition des compétences et tâches pour les emplois de tous les secteurs
- Dynamics des métiers et des emplois (créations, destructions) en interaction avec le modèle d'innovations

[WP2] Bouclage macroéconomique du modèle

- Modélisation des demandes pour les types de biens (biens de consommation finale, biens intermédiaires, biens d'équipement)
- Modélisation des marchés des biens avec prix endogènes
- Ajout d'un système bancaire simplifié (prêts aux ménages et aux entreprises)
- Réalisation du bouclage (modèle cohérent en stocks et en flux)

³ Pour compléter, voir <http://cred.u-paris2.fr/ballot>

⁴ Informations complémentaires : <http://www-poleia.lip6.fr/~kant/>

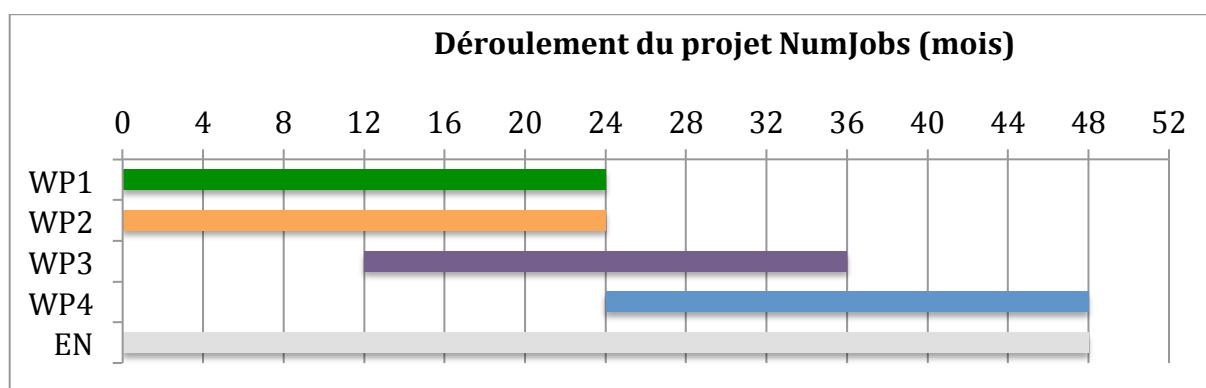
[WP3] Couplage avec le modèle d'innovations

- Ajout de la dynamique des innovations, investissements en R&D, innovation de produit et de procédé, nouveaux produits
- Dynamiques associées des métiers (compétences et tâches)
- Coopération et compétition entre les firmes, alliances
- Prise en compte des spécificités de l'économie numérique

[WP4] Simulation de l'impact du numérique sur l'emploi

- Identification des cas d'études, en coopération avec les partenaires
- Collecte de données pour ces cas
- Implémentation des cas
- Simulations, expérimentations, analyses et conclusions

WP1 et WP2 doivent être synchronisés, avant de réaliser le couplage WP3. WP4 conclura pour obtenir les premiers résultats. Par ailleurs, plusieurs études transversales [EN] sur l'économie numérique seront à mener dès le début du projet, avec nos partenaires, afin de définir les secteurs à étudier, les caractéristiques des emplois du secteur, et les facteurs à prendre en compte pour notre simulation (en plus de ceux que nous avons déjà identifiés plus haut). Une proposition de déroulement sur 48 mois est résumée dans le diagramme ci-dessous.



Moyens demandés

Les moyens affectés au projet permettront de réaliser les différentes phases identifiées ci-dessus. Ils sont à discuter avec le(s) partenaires(s) qui souhaiteront participer au projet NumJobs.

A titre indicatif, on pourrait par exemple envisager 1 doctorant(e) sous contrat CIFRE pour réaliser WP1 et WP4 (avec 1 an de post-doc à compléter après la thèse pour finir WP4), afin d'avoir 1 personne qui suit l'ensemble du projet, complété(e) par 2 chercheurs post-doctorants pour réaliser WP2 et WP3. A cela s'ajouteront le contrat de collaboration pour les encadrants universitaires, et les moyens affectés à l'étude transversale EN.

Références

- M., Arntz, T. Gregory et U. Zierahn (2016), *The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis*, OECD Social, Employment and Migration Working Papers n°189, OECD Publishing, Paris.
- G. Ballot et T. T. Huynh, “Competences and persistence of alliances in vertical co-opetition: An agent-based model”, Workshop on Economic Heterogenous Interacting Agents (WEHIA) 2016, June 22-24, Castellon de la Plana, Spain, and 16th International Joseph Schumpeter Society 2016, Montréal, July 6-8.
- Roland Berger (2014), *Les classes moyennes face à la transformation digitale : Comment anticiper ? Comment accompagner* . Octobre.
- COE (2017), Automatisation, numérisation et emploi. Tome 1 : Les impacts sur le volume, la structure et la localisation de l’emploi. Rapport Conseil d’Orientation pour l’Emploi, Janvier.
- http://www.coe.gouv.fr/Detail-Nouveaute.html%3Fid_article=1347.html
- N. Gilbert and K. G Troitzsch (2005). *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press.
- C. B. Frey et M. A. Osborne (2013), *The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation*, University of Oxford, september.
- O. Goudet, J. D. Kant, G. Ballot (2016) . *WorkSim - a calibrated agent-based model of the labor market accounting for workers' stocks and gross flows*. Computational Economics, July 2016, pp. 1-48. <http://link.springer.com/article/10.1007/s10614-016-9577-0> .
- N. Le Ru (2016), *L’effet de l’automatisation sur l’emploi : ce qu’on sait et ce qu’on ignore* , La note d’analyse, n°49, France Stratégie, juillet.
- L. Tesfatsion and K. L. Judd (2006). *Handbook of Computational Economics, Volume 2: Agent-Based Computational Economics* . North Holland.