AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Bulletin N° 129

Association française pour l'Intelligence Artificielle

AFIA

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

PRÉSENTATION DU BULLETIN

Le Bulletin de l'AFIA vise à fournir un cadre de discussions et d'échanges au sein des communautés académique et industrielle. Ainsi, toutes les contributions, pour peu qu'elles aient un intérêt général pour l'ensemble des lecteurs, sont les bienvenues. En particulier, les annonces, les comptes rendus de conférences, les notes de lecture et les articles de débat sont très recherchés.
Le Bulletin contient également chaque trimestre un dossier plus substantiel qui porte : soit sur un thème lié à l'IA (2 numéros par an), soit sur des équipes de recherche en IA (1 fois par an), soit sur la Plate-forme Intelligence Artificielle PFIA (1 fois par an).
Le comité de rédaction se réserve le droit de ne pas publier des contributions qu'il jugerait contraire à l'esprit du bulletin ou à sa politique éditoriale. En outre, les articles signés, de même que les contributions aux débats, reflètent le point de vue de leurs auteurs et n'engagent qu'eux-mêmes.

Édito

Ce numéro du Bulletin de l'AFIA est consacré à un dossier pluridisciplinaire monté par Jean-Daniel KANT (LIP6, Sorbonne Université) que nous remercions chaleureusement, sur le thème « IA & Économie : Apport de l'IA à la science économique ». Ce dossier met en lumière l'utilisation de l'intelligence artificielle pour analyser et modéliser les phénomènes économiques. Des techniques comme les systèmes multi-agents, les réseaux de neurones et les algorithmes évolutionnaires offrent des perspectives intéressantes pour comprendre les phénomènes complexes et non linéaires propres à l'économie et aux situations de marché. L'AFIA tient à remercier toutes les personnes qui ont alors contribué à la richesse de ce dossier (voir page 4).

Dans la suite de ce Bulletin, vous retrouverez le compte rendu de la journée GAS'25 organisée conjointement par le GT GAST, l'association EGC et l'AFIA (voir page 43) ; et celui de la journée propre de l'AFIA PDIA'25 (voir page 47). Vous trouverez ensuite la liste des thèses soutenues lors du trimestre écoulé, page 54. Enfin, la composition actuelle du Conseil d'Administration se trouve en quatrième de couverture de tous nos bulletins.

Encore un grand merci à tous les contributeurs et contributrices de ce numéro, sans oublier Caio CORRO pour sa relecture assidue.

Bonne lecture à tous !

Grégory BONNET
Rédacteur

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

SOMMAIRE

DU BULLETIN DE L'AFIA

3 Dossier « IA & Économie »

Édito 4
Econom'IA : champ émergent, enjeux de recherche, perspectives méthodologiques et dynamiques collectives autours d'un atelier 5
IA et économie : le trilemme de l'innovateur ? 10
Apports de la simulation multi-agents à l'étude de phénomènes économiques : l'approche MOSIMA 15
Simulation multi-agents pour l'optimisation économique de la collecte des déchets urbains dans les villes africaines 19
Vers une économie circulaire territoriale : modélisation orientée agents des échanges de coproduits 25
Apprentissage des équilibres de Stackelberg-Nash dans des jeux à information incomplète, pour la conception de politiques publiques : application à l'assurance forestière sous risques multiples 30
Monte Carlo Tree Search pour la politique monétaire : une approche par planification séquentielle 33
Outils prédictifs de l'affluence touristique 37

42 Comptes rendus de journées, événements et conférences

GAS'25 : « Gestion et Analyse de données Sportives » 43
PDIA'25 : « Perspectives et Défis de l'IA – désinformation, démocratie et IA » 47

53 Thèses et HDR du trimestre

Thèses de Doctorat 54
Habilitations à Diriger les Recherches 56

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Dossier

« IA & Économie »

Dossier réalisé par

Jean-Daniel KANT
LIP6 / SMA
Sorbonne Université & CNRS
jean-daniel.kant@lip6.fr
https://webia.lip6.fr/~kant/
https://terraneon.lip6.fr/

Édito

L'intégration de l'intelligence artificielle et des systèmes multi-agents dans la modélisation économique représente une révolution méthodologique majeure qui transforme notre compréhension des phénomènes économiques complexes. Cette approche innovante dépasse les limitations des modèles économétriques traditionnels en offrant une capacité analytique supérieure pour capturer les dynamiques non linéaires, l'hétérogénéité des agents et les propriétés émergentes des systèmes économiques.

Les modèles économétriques classiques, tels que les méthodes de régression linéaire et les modèles de séries temporelles ARIMA, reposent sur des hypothèses restrictives d'équilibre, d'agents représentatifs et de relations linéaires entre variables. Ces approches présentent des limitations importantes face à la complexité croissante des systèmes économiques modernes, notamment leur incapacité à modéliser les comportements non linéaires et les interactions dynamiques entre agents hétérogènes.

L'économie de la complexité, développée notamment par l'Institut Santa Fe, propose un paradigme alternatif qui considère l'économie comme un système adaptatif complexe en perpétuelle évolution. Cette approche abandonne l'hypothèse d'équilibre statique au profit d'une vision dynamique où les agents économiques interagissent continuellement, créent et modifient leur environnement en temps réel.

Les *systèmes multi-agents* (SMA) constituent l'épine dorsale méthodologique de cette nouvelle approche. Dans ces modèles, les agents computationnels représentent des entités économiques (consommateurs, entreprises, investisseurs) dotées d'une autonomie décisionnelle et d'une capacité d'adaptation. Chaque agent opère selon des règles de comportement spécifiques, interagit avec son environnement et ajuste ses stratégies en fonction des résultats observés. Les modèles basés sur les agents présentent plusieurs avantages distinctifs. Ils permettent de représenter l'hétérogénéité des agents économiques avec des préférences, des capacités et des contraintes différenciées. Ces modèles intègrent la rationalité limitée des agents qui, plutôt que d'optimiser parfaitement, utilisent des heuristiques et des règles de décision satisfaisantes.

Un aspect fondamental de ces modèles réside dans leur capacité à générer des propriétés macroéconomiques émergentes à partir d'interactions microéconomiques simples. Ces phénomènes émergents incluent la formation de bulles spéculatives, les cycles économiques, la volatilité groupée et les distributions à queue épaisse des rendements financiers.

L'intégration de la *théorie des jeux évolutionnaires* dans les SMA permet de modéliser la dynamique des stratégies d'agents en compétition. Les agents ajustent leurs comportements en fonction des performances observées, créant des processus de sélection naturelle qui façonnent l'évolution du système économique global.

L'*intelligence artificielle* (IA), notamment à travers les algorithmes d'apprentissage automatique et d'apprentissage profond, augmente la capacité prédictive des modèles économiques. Les réseaux de neurones artificiels, les forêts aléatoires et les machines à vecteurs de support démontrent une supériorité marquée dans la capture des relations non linéaires complexes présentes dans les données économiques. Les méthodes d'IA offrent quatre avantages principaux sur les approches traditionnelles. Premièrement, elles améliorent significativement la précision des prévisions en modélisant les relations non linéaires entre variables économiques. Deuxièmement, elles per-

mettent le traitement de volumes massifs de données hétérogènes en temps réel. Troisièmement, elles réduisent considérablement le temps de développement des modèles grâce aux techniques d'apprentissage automatique automatisé, ou AutoML. Enfin, elles facilitent l'analyse en temps réel par le traitement de flux de données continues.

Ce sont tous ces aspects qui sont développés dans ce dossier. Après avoir présenté un atelier national visant à fédérer les travaux alliant IA et économie, puis une réflexion sur IA et innovation, nous présentons des contributions en simulation multi-agents, théorie des jeux, planification et prédiction.

Je remercie Grégory BONNET pour m'avoir proposé de coordonner ce dossier, et l'ensemble des contributrices et contributeurs.

Bonne lecture !

Econom'IA : champ émergent, enjeux de recherche, perspectives méthodologiques et dynamiques collectives autours d'un atelier

Par

Olha NAHORNA
BSE / UMR 6060, UMR 1441
Université de Bordeaux
olha.nahorna@cnrs.fr
www.bse.u-bordeaux.fr

Rim BAHROUN
EconomiX / UMR 7235
Université Paris Nanterre
rim.bahroun@cnrs.fr
https://economix.fr/

Cet article a été corrigé avec ChatGPT.

Introduction

La discussion sur le périmètre de différents usages et applications de l'intelligence artificielle (IA) dans les sciences économiques est au cœur de cet article. Il s'agit de mettre en lumière les opportunités, les freins et les perspectives qu'elle ouvre. A travers le prisme des sciences ouvertes, cette discussion aborde des questions de l'IA responsable : comment transforme-t-elle les méthodes de recherche, quelles compétences exige-t-elle, et quelles conditions sont nécessaires pour garantir une recherche à la fois rigoureuse, accessible et reproductible. L'atelier Econom'IA vise à structurer une communauté autour de ces enjeux et à promouvoir les bonnes pratiques.

L'économie, une discipline enrichie par les autres sciences

L'économie, en tant que discipline scientifique, a été profondément influencée par d'autres champs de savoir. Le mariage avec la statistique a donné naissance aux méthodes économétriques ; l'influence des sciences comportementales issues de la psychologie et de la sociologie a remis en question le postulat de rationalité absolue de l'individu ; les apports de la géographie et de la cartographie ont introduit de nouvelles méthodes d'analyse en économie urbaine ; et plus récemment, l'informa-

tique a contribué par des approches computationnelles innovantes, telles que les réseaux d'agents. Ces exemples montrent que les idées novatrices émergent souvent au croisement des disciplines et des compétences [18].

Aujourd'hui, l'intelligence artificielle (IA) figure parmi les technologies les plus transformatrices de notre époque. Selon le CNIL, « *l'intelligence artificielle est un procédé logique et automatisé reposant généralement sur un algorithme et en mesure de réaliser des tâches bien définies. Pour le Parlement européen, constitue une intelligence artificielle tout outil utilisé par une machine afin de « reproduire des comportements liés aux humains, tels que le raisonnement, la planification et la créativité ». La Commission européenne considère que l'IA regroupe :*

- *Les approches d'apprentissage automatique ;*
- *Les approches fondées sur la logique et les connaissances ; et*
- *Les approches statistiques, l'estimation bayésienne, et les méthodes de recherche et d'optimisation [8]. »*

En sciences économiques, son impact est multiple. Dans cet article, nous regroupons l'ensemble de ces dimensions sous l'appellation : **Econom'IA**.

IA et économie numérique : un champ de recherche

Comme d'autres technologies de rupture (électricité, chemin de fer, internet), l'IA crée de nouveaux marchés tout en transformant en profondeur les structures existantes. Dans le contexte de l'économie numérique, elle soulève des questions fondamentales, actuellement au cœur de nombreuses recherches :

- Comment l'IA modifie-t-elle les modèles d'affaires numériques ?
- Quels nouveaux mécanismes économiques émergent ?
- Quelles formes de régulation sont nécessaires ?
- Quelles stratégies d'innovation permettent aux entreprises de tirer parti de ces technologies ?

Des sujets comme les cryptomonnaies [17, 12], les plateformes numériques [3, 5] ou encore les logiques de personnalisation algorithmique [14, 21] sont ainsi apparues dans les débats académiques.

L'IA transforme les relations sociales et les structures économiques

L'IA redéfinit la façon dont les entreprises produisent de la valeur, gèrent leurs processus et interagissent avec les consommateurs. Cela a un impact majeur sur la productivité, l'emploi, la nature des compétences demandées, les formes de concurrence, ainsi que sur les modes de gouvernance et de régulation.

L'automatisation croissante de nombreuses tâches crée un besoin accru de requalification professionnelle et modifie les rapports sociaux et économiques. Par exemple, on observe une hausse des emplois très qualifiés et très peu qualifiés, tandis que les emplois intermédiaires se raréfient [15]. En plus, l'IA dans certains cas réduit la différence de la productivité entre les employeurs [13] et donne accès à des formations sur mesure pour aider les salariés à monter en compétences, facilitant la reconversion professionnelle et l'adaptation rapide aux transformations du marché [20, 7]. Comprendre ces transformations est essentiel pour anticiper les effets à long terme de l'IA sur l'organisation du travail et les dynamiques de marché.

L'IA comme outil de préparation des données

Les sciences économiques modernes s'appuient de plus en plus sur l'analyse de données massives [4]. Dans ce contexte, l'IA joue un

rôle clé dans la collecte, transformation et préparation des données pour l'analyse :

- *Web scraping* automatisé via des agents intelligents ;
- Création de variables par des algorithmes d'apprentissage automatique ou à partir de textes (traitement automatique des langues) ;
- Pré-traitement de données pour des analyses économétriques plus robustes.

Ces outils permettent de dépasser les limites des bases de données traditionnelles et d'ouvrir l'économie à des sources d'information inédites.

L'IA comme méthode de recherche en économie

Les algorithmes d'IA ont conduit à l'émergence de nouvelles méthodes de recherche, qui complètent ou repensent les approches classiques :

- Les modèles à agents utilisent l'IA pour simuler le comportement de milliers d'agents économiques dans des environnements complexes. Ces agents sont dotés de capacités d'apprentissage (apprentissage par renforcement). L'application de ces modèles en marchés financiers [22], dynamique de réseaux, diffusion technologique a permis de mieux comprendre des phénomènes comme les crises financières, la croissance économique [16, 10], et la diffusion de l'innovation.
- L'analyse de données massives et leur visualisation facilitent la détection de tendances économiques à grande échelle, tout en remettant en question certaines pratiques comme l'échantillonnage ou la seule focalisation sur la significativité statistique (*p-value*) [19, 11].
- L'apprentissage automatique transforme la démarche scientifique : au lieu de partir d'hypothèses causales a priori, les chercheurs peuvent désormais détecter des relations implicites entre variables à partir des données elles-mêmes [2, 9].

Compétences du chercheur en économie à l'ère de l'IA

Le métier de chercheur en économie évolue : il se rapproche désormais du profil d'un expert en sciences des données, ou *data scientist*. Aborder les sujets liés à l'IA et à l'économie numérique nécessite :

- La maîtrise d'outils techniques (R, Python, Git, Docker, Quarto, Modèles d'apprentissage automatique, LLM sécurisés, etc.) ;
- La mise en œuvre de bonnes pratiques (partage de code, données ouvertes) ;
- Une formation continue pour intégrer les dernières avancées méthodologiques.

Le manque de compétences techniques constitue un frein majeur à l'adoption de ces outils et à la transition vers les sciences ouvertes, pourtant cruciale pour garantir une recherche plus transparente, collaborative et reproductible.

De plus, la culture de la publication en économie omet souvent les détails des étapes techniques (nettoyage, transformation des données), rendant difficile la reproductibilité des résultats et peut remettre en cause leur validité.

L'usage non encadré d'outils d'IA générative peut également introduire des erreurs subtiles mais significatives et difficilement détectables. Il est donc essentiel de développer des protocoles robustes de validation des modèles génératifs utilisés dans un cadre scientifique. La gestion des données personnelles et confidentielles impose le respect des cadres éthiques et juridiques (règlement général sur la protection des données, RGPD). Il est recommandé d'utiliser des plateformes et outils open source, hébergés sur des serveurs et centres des données publics sécurisés, accessibles à la commu-

nauté scientifique. Enfin, l'impact environnemental des travaux de recherche nécessite une attention particulière portée aux ressources de calcul mobilisées et à la consommation d'énergie associée. Il est essentiel de promouvoir des techniques permettant d'optimiser ces usages.

L'IA responsable devient incontournable pour protéger les études du biais algorithmiques, qui peuvent fausser les analyses économiques ou reproduire des inégalités sociales, leur traçabilité et reproductibilité. Promotion des solutions sobres en énergie, partage transparent des codes, données et méthodologies, permet à la communauté de vérifier, répliquer et améliorer les travaux existants, tout en garantissant un usage aligné avec les valeurs scientifiques et sociétales.

Atelier Econom'IA : vers une communauté structurée

Pour répondre à ces enjeux, structurer une communauté et partager les bonnes pratiques, nous avons lancé en 2024 l'atelier international Econom'IA [1], organisé à Bordeaux par le laboratoire Bordeaux Sciences Économiques (Université de Bordeaux).

Le succès de cette première édition a permis d'envisager une suite :

- en 2025, une deuxième édition à l'Université Paris Nanterre, accueillie par le laboratoire EconomiX ;
- en 2026, une prochaine édition prévue à l'Université de Cergy, au sein du laboratoire THEMA.

Les deux premières éditions ont porté sur des thématiques au cœur des transformations méthodologiques en économie :

- La collecte de données massives par le moissonnage, ou *web scraping* ;
- Les méthodes de traitement par l'apprentissage automatique ;
- Le traitement automatique des langues ;
- La construction et l'analyse de graphes textuels ;
- L'utilisation responsable des grands modèles de langage.

L'atelier a adopté un format hybride, mêlant des matinées de formation, destinées à un public débutant en IA et des sessions de présentation de travaux de recherche, qui ont réuni des pratiquants confirmés. L'échange de bonnes pratiques a créé une dynamique de partage entre experts et débutants, permettant une évolution collective, intergénérationnelle et internationale. Une thématique interdisciplinaire du colloque a intégré dans le comité d'organisation des membres des laboratoires en économie (BSE, EconomiX, Erudite, THEMA) et en informatique (LIP6). Parmi les participants il y avait des participants d'entreprises privés ainsi que du monde universitaire représentant différentes disciplines, en plus de l'économie : sciences politique, gestion, informatique. La dynamique de l'atelier favorise une véritable synergie entre diffèrent acteurs, au service de l'innovation méthodologique et scientifique.

Parmi les intervenants invités :

- Emmanuel FLACHAIRE (professeur à l'Université Aix-Marseille) a partagé sa vision sur la passerelle entre l'économétrie et les méthodes d'apprentissage automatique [6] ;
- Kévin CORTIAL et Nicolas SAUZÉAT (entreprise OpenStudio) ont présenté leur expérience dans la création de l'atlas industriel, renforçant ainsi les synergies collaboratives industrielles et favorisant les collaborations locales ;
- César HIDALGO (directeur de recherche à ANITI, Université de Toulouse, Prix Lagrange, plusieurs Webby Awards) a exposé ses travaux sur la complexité économique, en mobilisant des outils d'intelligence artificielle avancée ;
- Christophe BENAVENT (professeur à l'Uni-

versité Paris-Dauphine, PSL) a présenté ses recherches sur la fouille de grands corpus textuels appliquée à l'analyse du marketing.

L'objectif d'Econom'IA est de fédérer une communauté ouverte autour des enjeux croisés de l'économie et de l'intelligence artificielle. Nous vous invitons chaleureusement à nous rejoindre lors de la prochaine édition en mai 2026 à l'Université de Cergy pour construire, ensemble, l'avenir des sciences économiques à l'ère de l'IA.

Références

[1] Econom'IA Workshop, 2023. Accès le 21/06/2025.

[2] J. Balla, S. Huang, O. Dugan, R. Dangovski, and M. Soljačić. AI-assisted discovery of quantitative and formal models in social science. *Humanit Soc Sci Commun*, 12(1114), 2025.

[3] A. De Biasio, N. Navarin, and D. Jannach. Economic recommender systems – a systematic review. *Electronic Commerce Research and Applications*, 63, 2024.

[4] D. Blazquez and J. Domenech. Big data sources and methods for social and economic analyses. *Technological Forecasting and Social Change*, 130 :99–113, 2018.

[5] K. Caliskan. Platform works as stack economization : Cryptocurrency markets and exchanges in perspective. *Sociologica*, 14(13) :115–142, 2020.

[6] A. Charpentier, E. Flachaire, and A. Ly. Econometrics and machine learning. *Économie et Statistique / Economics and Statistics*, 1505(506) :147–169, 2018.

[7] Z. Chen. Artificial intelligence-virtual trainer : Innovative didactics aimed at personalized training needs. *Journal of the Knowledge Economy*, pages 1–19, 2022.

[8] CNIL. Intelligence artificielle. Accès le 21-06-2025.

[9] A. Desai. Machine learning for economics research : When what and how ?, 2023.

[10] G. Fagiolo, D. Giachini, and A. Roventini. Innovation, finance, and economic growth : an agent-based approach. *J Econ Interact Coord*, 115 :703–736, 2020.

[11] J. Fan, F. Han, and H. Liu. Challenges of big data analysis. *National Science Review*, 1(12) :293–314, 2014.

[12] D. Garcia and F. Schweitzer. Social signals and algorithmic trading of Bitcoin. *Royal Society Open Science*, 2(19), 2015.

[13] A. Georgieff. Artificial intelligence and wage inequality. *OECD Artificial Intelligence Papers*, 113, 2024.

[14] E. Hermann and S. Puntoni. Artificial intelligence and consumer behavior : From predictive to generative AI. *Journal of Business Research*, 180, 2024.

[15] V. Jerbashian. Automation and job polarization : On the decline of middling occupations in europe. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics - Wiley Online Library*, 2019.

[16] M. Lengnick and H. Wohltmann. Agent-based financial markets and new keynesian macroeconomics : a synthesis. *J Econ Interact Coord*, 18 :1–32, 2013.

[17] C. Lustig. Algorithmic authority : The case of Bitcoin. arXiv preprint arXiv :2201.05939, 2022.

[18] O. Nahorna and ChatGPT. Econom'ia – partager pour évoluer ensemble. MSH Bordeaux, 2024.

[19] C. Nicodemo and A. Satorra. Exploratory data analysis on large data sets : The example of salary variation in spanish social security data. *BRQ Business Research Quarterly*, 25(13) :283–294, 2020.

[20] K. K. Ramachandran, G. Singh, N. Cheepurupalli, and R. M. Chinnem. Developing AI-powered training programs for employee upskilling and reskilling. *Journal of Informatics Education and Research*, 2024.

[21] J. R. Saura. Algorithms in digital marketing : Does smart personalization promote a privacy paradox ? *FIIB Business Review*, 13(15) :499–502, 2024.

[22] A. Shavandi and M. Khedmati. A multi-agent deep reinforcement learning framework for algorithmic trading in financial markets. *Expert Systems with Applications,*, 208, 2022.

IA et économie : le trilemme de l'innovateur ?

Par **Valeriu PETRULIAN**
valeriu.petrulian@sciencespo.fr

Introduction

Afin d'analyser le rôle de l'intelligence artificielle (IA) dans l'économie, cette contribution propose de prendre en compte plusieurs axes de réflexion. Premièrement, l'IA en tant qu'objet économique est une « technologie à usage général » [21], c'est-à-dire, un ensemble de produits, de techniques et de procédés qui, ensemble, ont un potentiel extrêmement important de changement de l'activité économique, dans ses trois dimensions : macroéconomique, microéconomique et de l'économie industrielle. Deuxièmement, l'IA en tant que technologie numérique est l'un des principaux vecteurs de transformation digitale des organisations, privées et publiques, de l'économie. Plus particulièrement, les initiatives visant le déploiement de solutions faisant appel à l'IA dans la sphère publique illustrent parfaitement la grande variété des applications rendue possible par ses formes les plus récentes. Troisièmement, mise au service de l'État, l'IA revêt le rôle d'instrument d'action publique, c'est-à-dire, d'intermédiaire des interactions et des échanges entre l'État et les citoyens. Ces trois dimensions permettent, conjointement, de mettre en lumière les relations complexes entre l'intelligence artificielle et l'économie en tant que science sociale et en tant que terrain d'action collective.

L'IA, une technologie à usage général

Les technologies à usage général [21] comme, par exemple, l'électricité, l'informatique et Internet sont caractérisées par : i) leur omniprésence, autrement dit, leur capacité à se répandre à tous les secteurs d'activité économique, ii) par leur amélioration permanente, réduisant constamment les coûts pour leurs utilisateurs, et iii) par leur caractère d'*innovation reproductrice*, c'est-à-dire, servant de base pour l'élaboration de nouveaux produits et de nouveaux procédés. À l'origine de chaque grande famille de technologies à usage général se trouve une découverte scientifique. Par exemple, la filière économique de l'électricité, qui regroupe toutes les activités économiques de production, de distribution et de consommation de l'électricité, a comme point de départ les découvertes scientifiques liées aux phénomènes physiques associés à la présence de la propriété de charge électrique. Ces découvertes ont ensuite donné lieu à des multiples innovations, ayant, ensemble, permis à l'électricité d'être à l'origine de l'un des précédents cycles d'innovation technologique dans l'économie. À l'origine de l'intelligence artificielle,

qui est aujourd'hui considérée comme étant la principale technologie à usage général de notre époque, se trouvent des découvertes scientifiques issues de plusieurs disciplines et liées au traitement de l'information [13]. Le terme « intelligence artificielle », qui s'est imposé dans les années 1950, recouvre à la fois les notions de *traitement de l'information* et de *simulation* (« *simulation of cognitive processing* » selon les mots de Herbert SIMON, cité dans [13]). Deux grandes familles d'IA sont nées de ces travaux précurseurs : l'IA dite symbolique, qui utilise des règles et des représentations à base de symboles mathématiques et l'IA dite connexionniste, qui s'attache à simuler le fonctionnement du cerveau humain. La première est à la base des moteurs de règles (exemple : la plupart des correcteurs d'orthographe utilisés par les logiciels de traitement de texte), la deuxième, avec son architecture à base de réseaux neurones artificiels (*artificial neural networks*, ANN) a permis l'émergence de l'apprentissage automatique. Ce sont les développements récents des ANN (notamment, les réseaux neuronaux convolutifs ou *convolutional neural networks*, CNN) qui ont permis, notamment à l'apprentissage automatique, d'évoluer rapidement et de d'être à l'origine de la multiplicité d'applications observée aujourd'hui dans tous les domaines de l'économie et de la société.

Dans l'activité économique, sur un plan macroéconomique [1, 21, 22], l'IA en tant que technologie à usage général joue un rôle essentiel en tant que source de croissance, de productivité et de compétitivité. Ses influences sur la création et la destruction d'emplois font également l'objet de nombreuses études et d'analyses émanant du monde académique et des décideurs publics. Au niveau de la mésoéconomie (économie industrielle), l'IA en tant que technologie numérique fait l'objet de recherches visant, à la fois, d'analyser les changements induits par l'adoption des technologies digitales dans les industries (filières) traditionnelles et la façon dont des nouvelles chaînes de valeur et des nouveaux acteurs émergent grâce au numérique [22, 23]. Enfin, au niveau microéconomique, les recherches actuelles visent à déterminer comment l'IA modifie les choix et les comportements des agents économiques, notamment dans leurs décisions liées aux activités de marché [3]. Si la portée des recherches économiques en cours aux trois niveaux de l'économie est très vaste, le point commun de ces analyses semble être le caractère « disruptif » [11] des technologies numériques, notamment de l'IA, non seulement sur les structures économiques en place, mais également sur les limites des théories mobilisées jusqu'à présent afin d'élaborer des modèles permettant de comprendre et d'expliquer des réalités économiques de plus en plus complexes.

L'IA, un vecteur de transformation digitale

La transformation digitale des organisations recouvre une palette très large d'initiatives, de projets et de mesures visant à atteindre des objectifs de changement par l'intermédiaire des technologies numériques. Dans la sphère publique, cette démarche se situe dans la continuité de plusieurs programmes de modernisation des administrations publiques [24, 4]. Depuis l'avènement d'Internet comme lieu privilégié des échanges dans l'économie et la généralisation de l'usage des smartphones, les enjeux de cette nouvelle étape de transformation des organisations publiques par le numérique visent, principalement, à faciliter les interactions entre les administrations et les citoyens et à rendre l'action de l'État, dans son ensemble, plus efficace. Le constat à l'origine de la transformation digitale a été la croissance exponentielle du volume des données véhiculées sur Internet. En l'espace de seulement

quelques années les « *data* » sont devenues le carburant de l'économie numérique et leur intérêt grandissant dans les activités de modélisation économique ont abouti à la mise en place de politiques publiques pour leur acquisition, stockage, traitement et protection [10]. L'IA, dans ce contexte, s'est révélée être la seule famille de technologies à même de proposer un ensemble cohérent de modèles et d'outils capables de répondre d'une manière satisfaisante aux défis de la « révolution des données ». Dès lors, les initiatives publiques autour de l'IA se sont multipliées.

Par exemple, dans les domaines des statistiques et de la fiscalité publique en France, quelques projets récents illustrent bien la variété des cas d'usages de l'IA. Ainsi, la Direction Générale des Finances Publiques (DGFiP) met en œuvre à travers le projet « foncier innovant » une combinaison de technologies (IA et internet des objets) pour des travaux topographiques (plan cadastral) et de fixation de valeur locatives cadastrales pour les impôts locaux [15]. Au sein de la même institution, un projet d'assistant virtuel (assistant messagerie impôts, AMI) permet aux contribuables d'être guidés dans leurs démarches [14]. Encore à la DGFiP, le projet LLaMandement (utilisant le modèle open source d'IA générative Llama 2 développé par Meta) [18] aide les agents publics à résumer les amendements parlementaires. Enfin, l'ensemble des services publics français envisagent de généraliser Albert, qui est une intelligence artificielle générative, développée par l'État français pour accélérer les démarches administratives [16].

En fonction des différents cas d'usage, il est possible d'identifier trois typologies possibles d'utilisation de l'IA [18] :

- La première, assez générique (appelée « IA sur étagère ») regroupe un ensemble d'applications « standards » qui sont, pour la plupart, communes à l'ensemble des outils informatiques : analyse documentaire, traduction, assistance bureautique, génération de code informatique, etc.
- La deuxième, plus proche des métiers, apporte des solutions spécifiques, mais « superficielles » selon [18], soit aux besoins des agents de l'Etat, soit à ceux du public (administratives, juridiques, fiscales, etc.)
- La troisième, appelée « l'IA au cœur du système », est une utilisation étendue et profonde de l'IA, sur plusieurs cas d'usage, allant jusqu'aux données individuelles des usagers et ayant plusieurs degrés d'autonomie dans l'analyse et l'interprétation des données.

Enfin, ces quelques projets, tout en illustrant le foisonnement des initiatives liées au déploiement de l'IA au sein de l'administration française, font également ressortir le caractère instrumental de l'IA.

L'IA, un instrument d'action publique

L'IA est, dans ce contexte, un instrument d'action collective, [19] c'est-à-dire : « *un dispositif à la fois technique et social qui organise des rapports sociaux spécifiques entre la puissance publique et ses destinataires en fonction des représentations et des significations dont il est porteur. L'instrumentation constitue l'ensemble des problèmes posés par le choix et l'usage des outils (des techniques, des moyens d'opérer, des dispositifs) qui permettent de matérialiser et d'opérationnaliser l'action gouvernementale.* »

Selon les mêmes auteurs, placée dans le contexte de l'action publique, l'IA peut jouer plusieurs rôles, selon le champ d'action qui lui est attribué, le rôle de l'acteur qui s'en sert et les objectifs visés, comme le montre le tableau 1 ci-dessous qui reprend quelques-uns des cas d'usage de l'IA de la section précédente.

Cela revient à dire que, vues comme instruments de réflexion et d'action économique, les

IA, et plus particulièrement les IA génératives, loin d'être complètement étrangères aux phénomènes qu'elles sont censées intermédier, en font partie intégrante. A ce titre, l'IA permet de modéliser des phénomènes complexes [6] et de fournir aux chercheurs et aux décideurs publics des outils de plus en plus fiables pour la prise de décision [12, 17]. Les performances exceptionnelles des IA génératives à la ChatGPT soulèvent le problème de leur opacité et de leur nécessaire explicabilité [5, 25], notamment dans des domaines, comme l'action publique, où la transparence des échanges est un gage de confiance entre les acteurs institutionnels et les citoyens. Les mécanismes d'apprentissage automatique nécessitent des jeux de données de taille importante sur lesquels l'activité d'étiquetage peut s'avérer fastidieuse et coûteuse [8].

D'une manière plus générale, la prolifération des usages des IA génératives à l'ensemble de la société [9] soulève d'autres types de questionnements. Si l'augmentation des capacités humaines grâce à l'IA se situe dans la continuité des précédentes révolutions technologiques, l'autonomisation galopante des « agents IA » dans le contexte d'une économie de plus en plus dépendante des technologies numériques nous oblige à nous questionner sur les degrés de liberté que l'on souhaite consentir, collectivement, à leur attribuer [2]. Dans un monde où les données et l'information sont devenues des sources de richesse, les IA doivent-elles être considérées comme des agents économiques à part entière [7] ?

Conclusion

À l'origine du changement de paradigme technico-économique actuel, l'intelligence artificielle doit être appréhendée dans toute sa complexité. La déployer en tant que simple outil, par exemple dans le cadre de projets de transformation digitale, sans que cela ne se traduise par une bonne compréhension de ses multiples facettes risque d'engendrer des problèmes encore plus importants que ceux que les initiatives de transformation étaient censées résoudre.

À l'heure où les IA génératives remplacent des technologies plus anciennes, il est peut-être utile de se souvenir des paroles de Bruno LATOUR : « *Changez les instruments, et vous changez toute la théorie sociale qui va avec.* » [20] (citation originale : « *Change the instruments, and you will change the entire social theory that goes with them.* »)

Références

[1] D. Acemoglu. The simple macroeconomics of AI. In *79th Economic Policy Panel Meeting*, 2024.

[2] D. Acemoglu. Two models for agentic AI. Accès en ligne, 2025. [Accès le 20 Mai 2025].

[3] A. Agrawal, J. Gans, and A. Goldfarb. Introduction. In *The Economics of Artificial Intelligence : An Agenda*, pages 1–19. University of Chicago Press, 2019.

[4] Y. Algan, M. Bacache, and A. Perrot. Administration numérique. Technical report, Notes du conseil d'analyse économique, 34(7), 1-12, 2016.

[5] P. Alix. Les trois degrés de transparence des décisions individuelles fondées sur l'utilisation de systèmes d'IA. *Bulletin de l'AFIA*, 120 :19–25, 2023.

[6] W. B. Arthur. Economics in nouns and verbs. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 205 :638–647, 2023.

[7] C. Benavent. Comment l'apprentissage artificiel change le monde ? *Pouvoirs*, 2(1185) :39–50, 2023.

[8] D. Boullier and E. M. El Mahdi. Le machine learning et les sciences sociales à

l'épreuve des échelles de complexité algorithmique. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2020.

[9] CNRS. L'intelligence artificielle pénètre l'ensemble des strates de notre société. Accès en ligne, 2024. [Accès le 20 Mai 2025].

[10] S. Combes and P. Givord. Quelle place pour la data science et les big data au sein de la statistique publique ? In *RFAS*, pages 117–126, 2017.

[11] D. Coyle. Economics, disrupted. Accès en ligne, 2020. [Accès le 16 Mai 2025].

[12] J. Wołoszyn et S. Bukowski. The impact of AI on economic modelling. *European Research Studies Journal*, 27(11) :640–660, 2025.

[13] L. Fanti, D. Guarascio, and M. Moggi. From Heron of Alexandria to Amazon's Alexa : a stylized history of AI and its impact on business models, organization and work. *Journal of Industrial and Business Economics*, 149 :409–440, 2022.

[14] impots.gouv.fr. L'assistant virtuel de la DGFIP, votre nouvel AMI. Accès en ligne. [Accès le 29 Mai 2025].

[15] impots.gouv.fr. Généralisation du Foncier innovant. Accès en ligne, 2023. [Accès le 28 Mai 2025].

[16] info.gouv.fr. IA : connaissez-vous Albert ? Accès en ligne. [Accès le 29 Mai 2025].

[17] A. Korinek. Generative AI for economic research : Use cases and implications for economists. *Journal of Economic Literature*, 4(161) :1281–1317, 2023.

[18] Délégation à la prospective. L'ia et l'avenir du service public (rapport n°491). Technical report, Sénat, 2024.

[19] P. Lascoumes and P. Le Galès. *Gouverner par les instruments*. Presses de Sciences Po, 2005.

[20] B. Latour. Tarde's idea of quantification. In *The Social After Gabriel Tarde : Debates and Assessments*, pages 145–162. Routledge, 2010.

[21] A. McAffe. Generally faster : The economic impact of generative AI. Technical report, MIT/Google, 2024.

[22] J. Tirole. *Économie du bien commun*. PUF, 2016.

[23] H. Varian. Artificial intelligence, economics, and industrial organization. *NBER Working Paper Series*, 24839(124839), 2018.

[24] ViePublique. E-administration : la transformation numérique de l'État. Accès en ligne, 2024. [Accès le 25 Mai 2025].

[25] L. Vuarin and V. Steyer. L'injonction à la transparence : un levier réglementaire à double tranchant pour les organisations. *Bulletin de l'AFIA*, 120 :26–35, 2023.

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Apports de la simulation multi-agents à l'étude de phénomènes économiques : l'approche MOSIMA

Par **Jean-Daniel KANT**
LIP6 / SMA
Sorbonne Université & CNRS
jean-daniel.kant@lip6.fr
https://webia.lip6.fr/~kant/
https://terraneon.lip6.fr/

Introduction

Dans cet article, nous résumons une série de travaux conduits au laboratoire LIP6 de Sorbonne Université, portant sur l'étude de phénomènes économiques à l'aide de la simulation multi-agents. Comment lutter plus efficacement contre le chômage ? L'automatisation via des robots et des algorithmes prendra-t-elle nos emplois ? Comment trouver de nouveaux moyens, et notamment économiques, de lutter contre le réchauffement climatique et de préserver la biodiversité ? Ces questions ont en commun la complexité au sens de systèmes complexes : par définition, elles sont difficiles à étudier et impossibles à prévoir.

Pour les traiter, nous nous plaçons dans le sillage de l'approche dite ACE (*Agent-Based Computational Economics*) [5] qui consiste à modéliser les processus économiques comme des systèmes dynamiques où des agents interagissent selon des règles définies, souvent sans recherche d'équilibre global et en intégrant l'hétérogénéité des comportements. L'ACE considère les agents comme des entités autonomes, dotées de leur propre état et de règles de comportement évolutives. Ces agents peuvent représenter des individus, des groupes ou des institutions. Les interactions entre agents déterminent la dynamique du système, sans intervention externe pour imposer des conditions d'équilibre. L'approche repose sur des simulations informatiques où l'économie émerge des interactions locales entre agents, selon une logique *bottom-up*. Les agents adaptent leur comportement à partir de l'information disponible et des expériences passées (apprentissage), ce qui permet d'étudier l'évolution des structures économiques, l'apparition de régularités ou de crises, et l'influence de la diversité des agents.

Dans la suite de l'article, nous commençons par donner les bases méthodologiques de notre approche, avant de décrire les projets réalisés.

L'approche MOSIMA

La question centrale quand on utilise une simulation pour étudier un système complexe est celle de la *validité* du modèle computationnel sous-jacent : dans quelle mesure ce modèle et donc la simulation représentent-ils *adéquatement* le système à étudier ?

Afin de produire des modèles et simulations adéquats, nous avons créé et mis en œuvre une méthode de conception des simulations multi-agents : la méthode MOSIMA (*Modeling and Simulate with Multi-Agent systems*). Elle repose sur trois étapes [3] :

1. **Construction du modèle** : le modèle est microfondé à partir de théories empiriques ou de faits stylisés. Les hypothèses du modèle ne doivent ni contredire ni déformer ces théories. En particulier, le respect de la rationalité limitée doit rester un principe directeur lors de la modélisation du compor-

tement humain. La complexité du modèle doit également être contenue et seuls les éléments pertinents et nécessaires doivent être ajoutés au modèle pour répondre au problème traité.

2. **Données et paramètres** : les agents sont initialisés autant que possible sur la base de données réelles, représentatives du sujet étudié. Quant aux paramètres du modèle, ils doivent également refléter la réalité : soit nous les obtenons par une étude empirique de ces paramètres, soit nous les estimons à partir de données réelles, soit nous les calibrons à l'aide d'une méthode d'optimisation. Des analyses de sensibilité peuvent être effectuées pour évaluer l'impact des paramètres sur le modèle. Seuls les paramètres qui ont un effet sur le modèle doivent être retenus.
3. **Généralisation** : le modèle doit être capable de reproduire des faits stylisés vérifiés empiriquement qui ne sont pas inclus dans les données de l'étape précédente. Ce test de généralisation est l'étape ultime du processus de validation du modèle.

La plupart des modèles agents se contentent de la deuxième étape, tandis que tous les modèles que nous avons développés et qui sont décrits ci-dessous satisfont les trois, y compris la phase de généralisation, ce qui est rare.

WorkSim : comment réduire le chômage ?

Le projet WorkSim (2006-2017) est un modèle multi-agents créé en 2006, destiné à modéliser et simuler le marché du travail français [2, 4]. Il a été développé en collaboration avec Gérard BALLOT, Zach LEWKOVICZ et Olivier GOUDET. L'objectif principal est de représenter les dynamiques du marché du travail à travers l'interaction autonome d'agents employeurs et travailleurs, en tenant compte des décisions individuelles basées sur des informations limitées et des contraintes institutionnelles, plutôt que sur une optimisation parfaite. Le modèle simule la gestion des contrats, les créations et destructions d'emplois, la recherche d'emploi, les promotions, ainsi que la démographie (retraites, vieillissement) avec une granulation temporelle d'une semaine pour refléter des réalités comme les très courts contrats fréquents en France.

La méthode MOSIMA a permis de calibrer précisément le modèle sur un large ensemble de variables agrégées du marché du travail (stocks et flux de travailleurs). Ainsi, WorkSim fournit une analyse détaillée des carrières individuelles, des types de contrats (notamment les contrats à durée déterminée) et de leurs effets sur la segmentation et les cycles de vie professionnels. Le modèle met en lumière des comportements réalistes tels que l'incertitude employeur sur la productivité réelle des employés, induisant des licenciements personnels, et intègre des mécanismes d'apprentissage et d'erreur des agents. WorkSim offre ainsi un outil puissant pour tester des politiques d'emploi et analyser leurs impacts dans un environnement dynamique et complexe.

Ainsi, WorkSim est un simulateur avancé du marché du travail français qui combine modélisation multi-agents et calibration fine, avec des résultats riches en informations sur le fonctionnement et l'évolution des marchés du travail, leur segmentation, et les effets des différents types de contrats sur les parcours professionnels.

Avec WorkSim, nous avons évalué plusieurs lois qui ont été mis en œuvre en France afin notamment de réduire le chômage et améliorer l'emploi. Notamment nous sommes les seuls à avoir **évalué la loi travail « El Khomri »**, travail cité par le FMI et la Commission Européenne dans leur rapports respectifs sur l'économie française en 2016.

Notre simulation a montré que la loi modi-

fie profondément le marché du travail en substituant des jeunes à des moins jeunes et en rendant les CDI plus précaires, se substituant en partie aux CDD. La loi introduit principalement des éléments de flexibilité sans les accompagner de mesures de sécurité telles qu'une meilleure assistance aux chômeurs ou un système de formation renforcé, ce qui explique que la loi n'améliore pas l'emploi global et peut même le dégrader si la conjoncture économique globale est mauvaise.

NumJobs : l'IA va-t-elle prendre nos emplois ?

Une autre question cruciale de société que nous avons abordée avec la simulation multi-agents : quels seront les impacts du numérique, et de l'IA en particulier, sur l'emploi ? Pour y répondre, nous avons conçu NumJobs (2018-2023), un modèle et un simulateur multi-agents de l'économie française, à l'échelle de l'économie réelle et fondé sur un grand nombre de données. Ce travail est en collaboration avec Nicolas DE BUFALA et Thuan HUYNH, dans le cadre d'un projet avec Pôle Emploi.

Avec NumJobs, il s'agit de mettre les compétences et les tâches au cœur de notre modèle. Ainsi les emplois ne seraient pas évalués seulement en terme de profits et d'utilité mais de compétences et de tâches pour définir la demande de travail côté entreprise, et l'offre des individus. Une version simplifiée d'un CV pour les individus contient leurs diplômes, et leurs portefeuille de compétences, ainsi que les expériences acquises d'utilisation de ces compétences qui permettent de réaliser certaines tâches. La productivité d'un employé dépend de son niveau de maîtrise des compétences nécessaires pour réaliser la tâche (ou les tâches) à effectuer.

Par ailleurs, NumJobs n'est pas constitué d'un marché du travail uniquement. nous avons conçu un **modèle complet de l'économie française**, afin de prendre en compte les effets de bouclage. Pour cela nous considérons les trois principaux types de biens que nous trouvons dans toute économie : biens de consommation, biens intermédiaires (matières premières, etc.) et biens de capitaux (équipements, etc.). On y ajoute des marchés pour ces biens, ainsi qu'un système bancaire simplifié pour avoir des prêts aux entreprises et aux ménages. Enfin, un secteur public représente l'État (politiques fiscales, subventions, etc.) De plus, nous garantissons une comptabilité rigoureuse des stocks et des flux (cohérence stock-flux).

Enfin, nous avons adopté une approche fortement descriptive, afin de proposer un modèle le plus réaliste possible. C'est pourquoi un travail important sur les données est effectué, que ce soit pour le travail, mais aussi la consommation, la production, et l'articulation entre ces différents éléments du modèle. Cela concerne la modélisation elle-même, où, par exemple, les tâches et les métiers dans le modèle sont tirés d'un référentiel réel, proposé par Pôle Emploi. Mais aussi l'initialisation et la calibration, qui permet de mieux valider le modèle, en suivant la méthode MOSIMA.

Ainsi, nous avons pu simuler l'introduction du numérique dans l'économie française, sous deux modes principaux : le numérique comme *aide* (p. ex. logiciel) sans remplacer l'employé, et le numérique *automate* qui remplace 100 % d'une tâche d'un employé. Globalement, si les outils numériques étaient entièrement produits en France, nous constatons une amélioration initiale de l'emploi, avec plus de créations que de destructions. Mais ce n'est pas le cas dans la réalité et si, par exemple, 50 % du numérique (biens et services) est produit en France, le reste étant importé, alors nous observons dans notre simulation que le numérique (et notamment l'IA) détruit dans ce cas plus d'emploi

qu'il n'en crée. Ces résultats demandent à être consolidés, et par ailleurs, l'intérêt principal de NumJobs est de pouvoir identifier finement les types d'emplois créés et détruits par cette automatisation, ainsi que les nouvelles compétences qui devront faire l'objet d'un effort accru dans les formations.

TerraNeon : comment réduire nos impacts sur l'environnement ?

Le projet TerraNeon, créé en 2022, propose un logiciel de modélisation et de simulation des systèmes complexes, issue de l'intelligence artificielle collective, avec une approche **systémique** pour obtenir des **solutions viables pour l'environnement, soutenables économiquement et acceptables socialement**. Il est réalisé en collaboration avec Maël FRANCESCHETTI, Tristan BERSOUX et Cédric HERPSON.

TerraNeon permet de :

- évaluer les impacts systémiques d'une décision / stratégie / politique,
- planifier automatiquement une stratégie : transition de décarbonation par exemple,
- utiliser la simulation pour communiquer, négocier entre plusieurs acteurs, trouver des consensus collectifs acceptables.

L'outil repose sur le simulateur multi-agents TerraSim [1], intégrant l'ensemble des dimensions pertinentes pour évaluer une mesure, une loi ou un produit de façon systémique : l'économie (entreprises, production, finance), le climat, la biodiversité, la population (consommation, démographie, etc.) C'est un **modèle macroéconomique à l'échelle de l'économie française, calibré sur la comptabilité nationale**, et intégrant tous les secteurs d'activités et leurs interactions. Il permet de réaliser des projections de notre société actuelle à horizon temporel paramétrable, et ainsi d'effectuer des comparaisons par analyse différentielle entre le scénario de base et les trajectoires obtenues lors de l'application d'un changement spécifique (décision, loi, etc.)

De plus, le calcul automatique d'un Bilan Carbone au niveau sectoriel est intégré de façon endogène au système. Le simulateur fournit ainsi tous les impacts sous forme d'une *analyse de cycle de vie* (ACV de *scope* 1, 2 et 3) des différents secteurs pour chaque type d'impact : émissions de gaz à effet de serre, polluants atmosphériques, usage des sols, consommation de l'eau, etc.

Un premier démonstrateur, intégrant un secteur de l'énergie détaillé, a été réalisé et traite la question de la **transition du mix énergétique en France**. Il permet de tester différents mix électriques, évaluer leur faisabilité, le coût d'une telle transition et ses impacts sur l'environnement. Par ailleurs, TerraNeon apporte plusieurs éléments supplémentaires et inédits :

- donner les impacts sur la biodiversité (eau, sols) et la pollution,
- indiquer si un mix est atteignable ou non (si non : donner le résultat réellement atteint et pour quelles raisons),
- fournir la trajectoire temporelle précise pour l'atteindre : dates de construction des centrales ou ENR, renouvellements, etc.

TerraNeon peut être utilisé pour mesurer et réduire les impacts dans tous les secteurs d'activité : énergie, transports, logement et urbanisme, agriculture, industrie, etc.

Références

[1] Tristan Bersoux, Maël Franceschetti, Cédric Herpson, and Jean-Daniel Kant. Terrasim : An agent-based simulation for systemic policy evaluation. application to electricity mix transition. In *19th annual Social Simulation Conference*, 2024.

[2] Olivier Goudet, Jean-Daniel Kant, and Gérard Ballot. WorkSim : A calibrated agent-

based model of the labor market accounting for workers' stocks and gross flows. *Computational Economics*, 50(1) :21–68, July 2016.

[3] Jean-Daniel Kant. An agent-based simulation approach to evaluate and design policies. Keynote Lecture. In *20th International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation*, 2019.

[4] Jean-Daniel Kant, Gérard Ballot, and Olivier Goudet. WorkSim : An agent-based model of labor markets. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(4) :4, 2020.

[5] Leigh Tesfatsion. Agent-based computational economics : A constructive approach to economic theory. In Leigh Tesfatsion and Kenneth L. Judd, editors, *Handbook of Computational Economics*, volume 2 of *Handbook of Computational Economics*, chapter 16, pages 831–880. Elsevier, 2006.

Simulation multi-agents pour l'optimisation économique de la collecte des déchets urbains dans les villes africaines

Priscille Ebwalette EBWALA
IFI / IS-VNU Hanoi
FEMS-UNIKIN Kinshasa
FST-UNIKIN Kinshasa
ebwalette@gmail.com
23315051@vnu.edu.vn

Par

Tuong Vinh HO
vinhht@vnu.edu.vn

Manh Hung NGUYEN
mhnguyen@ptit.edu.vn

Alain M. KUYUNSA
alainkuyunsa2013@gmail.com

Introduction

La gestion des déchets constitue un défi majeur pour les villes africaines, où l'urbanisation rapide dépasse souvent la capacité des infrastructures existantes. Selon les données de la banque mondiale, les villes d'Afrique subsaharienne génèrent plus de 174 millions de tonnes de déchets par an, un chiffre en constante augmentation [1]. À Cotonou, au Bénin, par exemple, la croissance démographique et l'expansion urbaine accentuent les difficultés de collecte, avec des coûts logistiques élevés, des trajets inefficaces, et un manque d'outils d'aide à la planification. Dans ce contexte, l'optimisation des tournées de collecte devient cruciale pour améliorer la performance des services urbains. Or, la majorité des études existantes sur la collecte intelligente des déchets se concentrent sur des contextes européens ou nord-américains, avec des infrastructures numériques avancées et une planification centralisée. Peu de travaux intègrent les contraintes spécifiques des villes du Sud, notamment la variabilité des densités urbaines, le

manque de données en temps réel, ou l'instabilité des réseaux routiers.

Cette étude s'inscrit dans cette lacune, en posant les questions suivantes :

- Comment la simulation multi-agents peut-elle permettre d'optimiser les itinéraires de collecte des déchets dans un quartier de Cotonou ?
- Quels impacts économiques concrets peuvent être mesurés selon différentes stratégies de collecte simulées ?

L'approche s'appuie sur des données géographiques réelles (QGIS) et sur la plateforme GAMA pour simuler les comportements des agents (citoyens, poubelles, camions, centres de traitement). Trois stratégies de collecte sont évaluées selon quatre indicateurs économiques : temps de collecte, distance parcourue, taux de débordement et trajets à vide.

Objectif. Modéliser un système de collecte adapté aux réalités africaines, tester différentes stratégies sur données locales, réduire les coûts opérationnels d'au moins 20 % et fournir un outil d'aide à la décision aux municipalités. Ce travail s'inscrit dans une démarche de durabilité urbaine et contribue à l'usage de l'intelligence artificielle au service des politiques publiques locales.

État de l'art et positionnement

La simulation multi-agents (SMA) constitue une approche puissante pour modéliser des phénomènes complexes en milieu urbain, notamment dans la gestion des transports, des services d'urgence ou des déchets [8, 9]. Elle permet de représenter des entités autonomes interagissant dans un environnement partagé, selon des règles locales pouvant générer des dynamiques globales réalistes. Plusieurs travaux ont appliqué cette approche au domaine de la gestion des déchets. Cohen *et al.* [4] ont simulé le tri résidentiel individuel, tandis que Baptista *et al.* [2] proposent une synthèse des techniques d'intelligence artificielle appliquées à la gestion municipale. Chen *et al.* [3] ont intégré les incertitudes logistiques dans leur modélisation SMA, et El Yousfi *et al.* [5] ont analysé les défis spécifiques aux villes en développement. Liping *et al.* [7] ont quant à eux montré que les SMA surpassent les méthodes logistiques classiques dans des environnements urbains décentralisés. Cependant, la majorité de ces études s'inscrivent dans des contextes dotés d'infrastructures stables et de données abondantes. À l'inverse, les villes africaines comme Cotonou ou Kinshasa sont confrontées à des contraintes rarement modélisées : routes dégradées, collecte intermittente, ressources logistiques limitées, hétérogénéité spatiale. La présente étude se positionne pour combler ce manque en développant une simulation multi-agents contextualisée, intégrant des paramètres locaux tels que la distance, la fréquence, la capacité de traitement et le coût énergétique. Le modèle repose sur la plateforme GAMA [9] et des données spatiales précises traitées avec QGIS [10]. Il s'inscrit dans la lignée des recommandations de l'UN-Habitat [11], qui encourage l'usage d'outils numériques adaptés aux réalités des villes du Sud. En ce sens, il constitue un outil d'aide à la décision concret pour optimiser les tournées de collecte à Cotonou et améliorer la performance économique des services urbains.

Méthodologie et cadre expérimental

Étude de cas : Cotonou (Bénin)

L'approche proposée a été appliquée à un quartier de la ville de Cotonou, au Bénin, afin d'illustrer son potentiel opérationnel. Les données géographiques ont été préparées avec QGIS à partir de *shapefiles* (routes, bâtiments), puis intégrées dans la plateforme GAMA pour modéliser l'environnement urbain

et simuler les comportements des agents de collecte (citoyens, poubelles, camions, centres de traitement).

Figure 1 – Carte géographique du quartier simulé (QGIS).

Modélisation des agents

Le système est composé de quatre types d'agents autonomes modélisés dans GAMA à l'aide d'automates à états : citoyens, poubelles, camions et centres de traitement. En résumé :

- **Citoyens** : générés dans les zones résidentielles, ils produisent et déposent les déchets dans la poubelle la plus proche.
  Attributs : position, rayon d'action, fréquence de dépôt.
  Comportements : localiser une poubelle, s'y rendre, déposer des déchets, retourner au point de départ.
- **Poubelles** : réparties stratégiquement, elles changent d'état selon le niveau de remplissage.
  Attributs : position, capacité (50 unités), remplissage, état (vide/pleine), couleur (vert/vide ou en cours de remplissage , Rouge/plein).
  Comportements : recevoir les déchets, mettre à jour l'état, générer une alerte au seuil critique.
- **Camions** : déclenchés à l'émission d'une alerte, ils assurent la collecte et le transport.
  Attributs : position, capacité, remplissage, état, vitesse, couleur (bleu/vide, noir/plein).
  Comportements : navigation, collecte, vidage au centre, retour.
- **Centres de traitement** : situés en périphérie, ils réceptionnent les déchets collectés.
  Attributs : position, capacité illimitée, zone de dépôt (jaune).
  Comportements : réceptionner les déchets, réinitialiser l'état du camion.

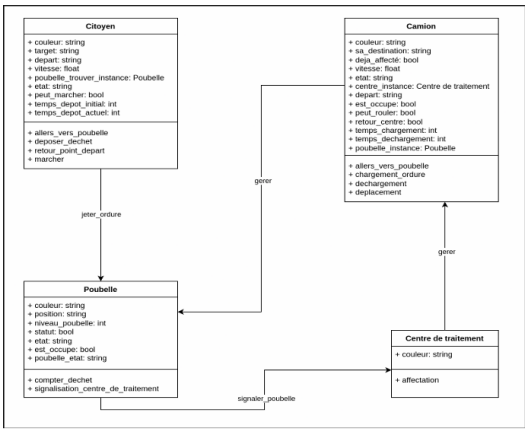

Figure 2 – Diagramme UML simplifié des agents du système multi-agents.

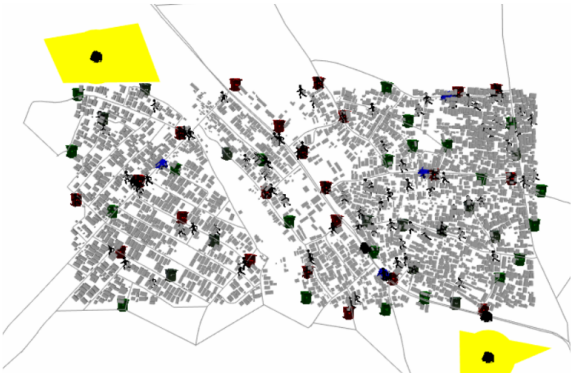

Figure 3 – Vue de la simulation GAMA avec agents citoyens, camions et poubelles (pleines en rouge et vides en vert).

L'interaction entre les agents est régie par un système d'états-transitions, permettant l'automatisation complète des processus de collecte. Le modèle simule l'ensemble des étapes du cycle opérationnel : génération et accumulation des déchets, déclenchement automatique d'alertes lorsque les seuils de remplissage sont atteints, déploiement des camions vers les poubelles concernées, puis retour vers les centres de traitement après vidange.

Stratégies de collecte simulées

Afin d'évaluer la robustesse et la flexibilité du modèle, trois stratégies de collecte ont été définies :

- **Stratégie 1 – Collecte réactive standard** : les camions sont déclenchés uniquement lorsqu'une poubelle atteint le seuil critique de remplissage (50 %). Cette stratégie reflète le fonctionnement actuel sans anticipation.
- **Stratégie 2 – Collecte proactive densité** : les zones à forte densité de population sont surveillées en priorité, avec des tournées planifiées à fréquence régulière même sans alerte.
- **Stratégie 3 – Collecte optimisée par seuil adaptatif** : les camions sont déclenchés dès que plusieurs poubelles atteignent 30 %, pour minimiser les déplacements isolés et combiner les trajets.

Indicateurs de performance et impacts économiques

Pour évaluer l'efficacité des stratégies simulées, quatre indicateurs clés ont été retenus, chacun associé à un impact économique mesurable :

- **Temps total de collecte** (en minutes) : reflète la charge opérationnelle et le coût humain associé aux tournées. Une diminution du temps améliore la productivité et réduit les coûts salariaux.
- **Distance totale parcourue** (en kilomètres) : directement liée à la consommation de carburant, à l'usure des véhicules et aux coûts de maintenance. Sa réduction engendre une baisse notable des dépenses logistiques.
- **Taux de débordement** (en %) : indique la fréquence à laquelle les poubelles dépassent leur capacité maximale. Un taux élevé implique un service inefficace, générateur de nuisances, de coûts supplémentaires de nettoyage ou de gestion de crise.
- **Nombre de trajets à vide** : correspond aux déplacements effectués sans collecte effective de déchets. Ces trajets sont sources de gaspillage énergétique et de temps, et impactent négativement les coûts d'exploitation (carburant, maintenance, temps de mobilisation).

Ces indicateurs permettent de comparer objectivement les stratégies et de quantifier les gains économiques potentiels liés à l'optimisation des tournées. À titre d'illustration, la stratégie optimisée a permis de réduire la distance totale parcourue de 30 à 22 km, le temps de collecte

de 120 à 96 minutes, le taux de débordement de 15 % à 4 %, et les trajets à vide de 10 à 3, soit une économie globale significative sur l'ensemble des postes logistiques.

Résultats et interprétation

Les simulations montrent une nette amélioration de l'efficacité du système de collecte. L'optimisation des itinéraires réduit les trajets à vide, rationalise les tournées et améliore l'usage des ressources. Comme on peu l'observer,cette optimisation entraîne une diminution de 15 à 20 % du temps de collecte et de la distance parcourue, avec à la clé une réduction des coûts d'exploitation (carburant, maintenance) et une meilleure gestion logistique.

Stratégie	Temps de collecte (min)	Distance parcourue (km)	Taux de débordement (%)	Trajets à vide
Stratégie 1	120	30	15	10
Stratégie 2	100	25	8	7
Stratégie 3	96	22	4	3

Figure 4 – Comparaison des stratégies de collecte.

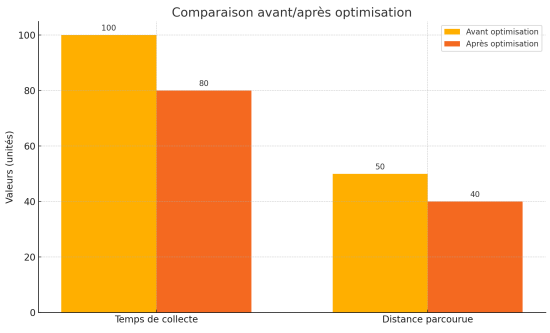

Figure 5 – Comparaison avant/après optimisation : réduction du temps de collecte et de la distance parcourue.

La comparaison avant/après optimisation révèle un gain d'efficacité d'environ 20 % sur le temps et la distance de collecte, validant la pertinence de l'approche multi-agents pour la gestion urbaine. Ce modèle constitue un outil d'aide à la décision robuste, particulièrement adapté aux réalités des municipalités africaines. Son appui sur des données spatiales et sa flexibilité en font une base prometteuse pour des extensions futures : intégration du trafic, typologie des déchets ou déploiement dans d'autres territoires.

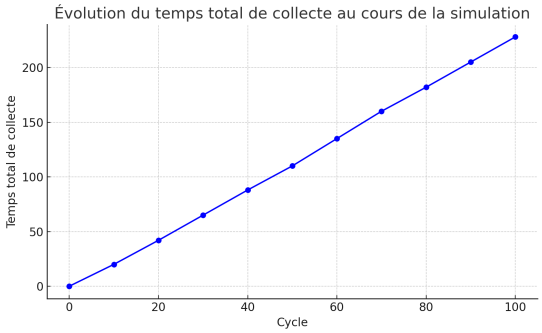

Figure 6 – Évolution du temps total de collecte au fil des cycles de simulation.

Conclusion

Cette étude met en lumière la pertinence des simulations multi-agents comme levier d'optimisation économique pour les systèmes de gestion des déchets dans les villes africaines. En combinant intelligence artificielle distribuée et données géographiques locales, elle démontre comment des outils numériques accessibles peuvent produire des stratégies opérationnelles plus efficientes, tout en tenant compte des contraintes budgétaires et logistiques spécifiques aux environnements urbains du Sud. Les résultats obtenus — notamment une réduction notable du temps et de la distance de collecte — soulignent le potentiel de ce type de modélisation pour générer des gains économiques mesurables et durables, en particulier dans des contextes où chaque ressource

mobilisée doit être optimisée.

En perspective, l'approche pourrait être enrichie par l'intégration de facteurs supplémentaires (trafic, saisonnalité, typologie des déchets) et bénéficier d'une validation empirique à travers des partenariats municipaux. Par ailleurs, des travaux récents ont mis en évidence l'intérêt des solutions fondées sur des jumeaux numériques urbains, exploitant des données géospatiales pour optimiser l'allocation des infrastructures de collecte [6]. Ce travail s'inscrit ainsi pleinement dans la dynamique portée par l'intelligence artificielle appliquée à la transformation économique des services publics urbains, en cohérence avec les objectifs du présent Bulletin.

Références

[1] Banque mondiale. What a waste 2.0 : A global snapshot of solid waste management to 2050. https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/, 2018. Rapport de la Banque mondiale.

[2] J. Baptista, A. Y. Bin Mohd Yusof, et al. Optimizing municipal solid waste collection using artificial intelligence : A review. *Waste Management*, 2022.

[3] Y. Chen et al. Agent-based simulation of waste logistics under uncertain demand. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2021.

[4] Jonathan Cohen, Cyril Ducruet, Sylvie Berroir, and Eric Daudé. Exploring urban scenarios of individual residential waste sorting using an agent-based model. *Waste Management*, 179 :111–125, 2024.

[5] M. El Yousfi et al. Smart waste collection in developing cities : Challenges and AI-based opportunities. *Sustainable Cities and Society*, 2023.

[6] Chih-Hsing Koo, Sunyoung Park, and Yongjin Choi. Urban digital twin-based solution using geospatial information for optimizing waste container allocation. *Sustainable Cities and Society*, 99 :105924, 2024.

[7] T. E. Liping et al. Urban solid waste management modelling using multi-agent systems. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2020.

[8] Charles M. Macal and Michael J. North. Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3) :151–162, 2010.

[9] Patrick Taillandier, Vo Duy Anh, Eric Amouroux, and Alexis Drogoul. GAMA platform : An open-source modeling and simulation environment for building spatially explicit agent-based simulations. *Environmental Modelling & Software*, 120 :104495, 2019.

[10] QGIS Development Team. QGIS geographic information system. https://qgis.org, 2023. Open Source Geospatial Foundation Project.

[11] UN-Habitat. Waste wise cities tool : Tool for assessing waste management performance. Technical report, United Nations Human Settlements Programme, Nairobi, Kenya, 2020.

Priscille Ebwalette EBWALA, l'auteure principale de cet article, est ingénieure chercheuse en intelligence artificielle, spécialisée en traitement d'images, vision par ordinateur, apprentissage profond et explicabilité de l'IA (XAI). Elle a obtenu son Master en Sciences spécialisé en Génie Informatiques à l'Université de Kinshasa (RDC). Elle a ensuite exercé comme assistante d'ensei-

gnement à la Faculté des Sciences Économiques et de Gestion ainsi qu'à la Faculté des Sciences et Technologies, au sein du Département de Mathématiques, Statistiques et Informatique. Elle a poursuivi ses études dans le cadre d'un double diplôme entre l'Université de La Rochelle (France) et l'Université Nationale du Vietnam à Hanoï (VNU).Ses travaux portent sur la détection d'objets, la classification d'images, la simulation multi-agents et l'intelligence artificielle explicable, dans le but de développer des solutions intelligentes répondant à des problématiques urbaines et éducatives.

Tuong Vinh HO, Ph.D. est professeur-chercheur et responsable du programme de Master en Informatique à l'IFI/VNU. Ses travaux portent sur la modélisation de systèmes complexes, l'apprentissage automatique, les sciences des données et la blockchain. Il encadre de nombreux projets de master centrés sur l'application de l'IA à des enjeux sociétaux.

Manh Hung NGUYEN, Ph.D. est professeur-chercheur à l'IFI (VNU) et *Associate Professor* à la Faculté de Technologies de l'Information, PTIT, Hanoi. Il travaille sur l'intelligence artificielle, l'optimisation combinatoire et la modélisation de systèmes urbains dynamiques.

Alain M. KUYUNSA, Ph.D. est professeur à l'Université de Kinshasa (RDC), affilié à la Faculté des Sciences et Technologies ainsi qu'à la Faculté des Sciences Économiques et de Gestion. Ses travaux portent sur la modélisation, la programmation orientée objet et l'intégration des outils numériques dans la gestion urbaine.

Vers une économie circulaire territoriale : modélisation orientée agents des échanges de coproduits

Par

Matthieu MASTIO
IRIT / SMAC
Université Toulouse Capitole
matthieu.mastio@irit.fr
https://www.irit.fr/departement/intelligence-collective-interaction/equipe-smac/

Benoit GAUDOU
benoit.gaudou@ut-capitole.fr

Introduction

La mise en œuvre d'une économie circulaire territorialisée nécessite des mécanismes d'appariement efficaces entre producteurs et utilisateurs de coproduits. Nous présentons ici un modèle multi-agents fondé sur l'apprentissage par renforcement, permettant de simuler l'émergence de marchés décentralisés. Chaque agent adapte ses stratégies de prix ou de choix d'offre dans un environnement non linéaire et partiellement observable. Le modèle reproduit des dynamiques complexes issues de l'interaction entre rationalité locale, contraintes spatiales et exploration stratégique. Il permet d'évaluer la capacité d'un écosystème à auto-organiser des boucles de circularité, sans coordination centralisée.

Contexte

Les territoires en transition vers l'économie circulaire font face à un défi majeur : identifier et valoriser localement des flux résiduels (coproduits) afin d'obtenir des boucles économiques viables. Or, en l'absence de marché structuré, ces échanges dépendent de relations bilatérales, ce qui implique un manque de visibilité global sur les quantité échangées et les prix pratiqués. Ces échanges sont souvent freinés par des facteurs économiques ou logistiques, menant à des équilibres économiques sous-optimaux en termes d'usage de ressources, notamment dû au « découplage entre le besoin brut et la consommation des moyens » [1]. L'approche par systèmes multi-agents permet de simuler l'auto-organisation potentielle de tels marchés, en tenant compte de la diversité des acteurs, de leur localisation et de leur capacité d'adaptation [8].

Modélisation des interactions économiques

Dans la lignée de travaux précédents sur la symbiose industrielle [9, 6, 4, 2], notre modèle fait interagir des producteurs de déchets, qui cherchent à éviter des coûts de mise en décharge, et des acheteurs potentiels de ces coproduits, pouvant intégrer ces ressources secondaires dans leurs propres processus de production ou d'usage. Cette approche rejoint les démarches émergentes en écologie territoriale fondées sur des dynamiques ascendantes et systémiques [5].

Dans notre cas, l'utilisation d'un mécanisme classique de double enchère [3], où acheteurs et vendeurs soumettent des offres anonymes sur un marché commun avec un prix d'équilibre unique, se révèle inadaptée. En effet, les offres de prix ne sont pas homogènes ni mutualisées, mais spécifiques à chaque binôme vendeur–acheteur en raison des contraintes logistiques différenciées. Cela empêche la formation d'un prix global unique et rend nécessaire un processus d'appariement individualisé, reflétant les hétérogénéités structurelles du système.

Nous proposons un modèle dans lequel chaque agent est défini par une localisation, une échelle d'activité, et des préférences ou contraintes économiques propres. Les agents ne connaissent pas l'ensemble du système, mais apprennent à partir de leurs propres interactions. Le processus d'échange est structuré sous forme d'enchères décentralisées. Les vendeurs publient des offres de prix personnalisées pour chaque acheteur, influencées par des coûts logistiques liés à la distance et aux coûts de transformation du produit. Les acheteurs comparent les offres reçues et choisissent celle qui maximise leur utilité. Les vendeurs sélectionnent à leur tour les offres qui maximisent leur profit.

Le processus d'échange modélisé ici repose sur un mécanisme d'enchères portant sur un produit unique, utilisé ici comme cas d'étude simplifié. Cette configuration a vocation à être généralisée à des systèmes plus complexes, intégrant plusieurs types de ressources, afin de mieux représenter la diversité des flux dans les écosystèmes circulaires territoriaux.

Apprentissage par renforcement multi-agent

Chaque vendeur ajuste à chaque pas de temps sa stratégie de prix à partir des résultats observés. Il ne connaît pas initialement le bon niveau de prix à proposer : un prix trop élevé le rend non compétitif, un prix trop bas érode ses marges. La stratégie d'apprentissage repose sur une exploration/exploitation progressive. Ce comportement est modélisé à l'aide d'un algorithme d'apprentissage par renforcement [7], permettant à chaque agent d'adapter sa politique décisionnelle en fonction des retours sur action qu'il observe dans un envi-

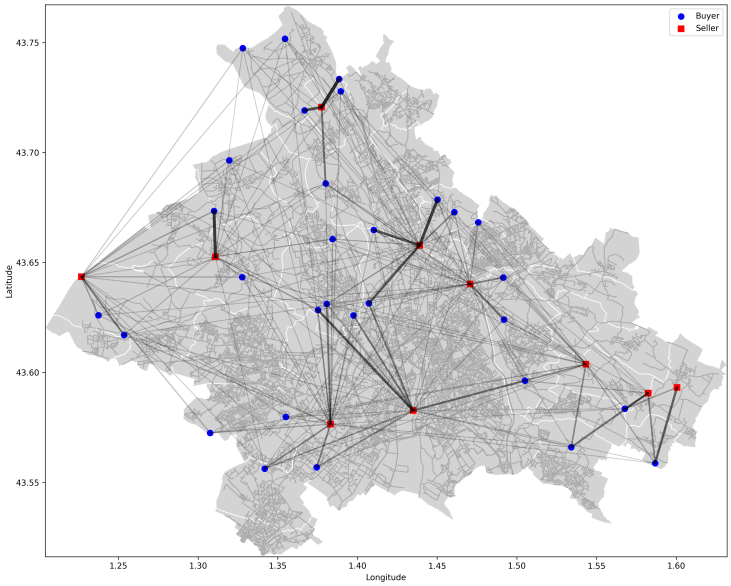

Figure 7 – Flux échangés entre les vendeurs et les acheteurs.

ronnement partiellement observable et non stationnaire.

L'espace des actions (prix possibles) est discrétisé, et chaque option est associée à un score ϕ mis à jour par renforcement. À chaque cycle, l'agent sélectionne une action avec une probabilité liée à son historique de performance, selon une combinaison de deux mécanismes : une distribution *softmax*, favorisant les actions ayant historiquement généré des profits élevés, et une stratégie ε-gloutonne, introduisant aléatoirement de l'exploration avec une probabilité ε. Le retour sur action prend en compte le profit net, pénalisé en cas d'invendus. Ce mécanisme permet à chaque agent de construire localement une politique adaptative, en interaction avec les comportements évolutifs des autres agents. Le système évolue ainsi de manière non déterministe, non seulement du fait du caractère stochastique du choix d'action, mais aussi en raison de l'exploration aléatoire introduite par la stratégie ε-gloutonne. Cette double source d'aléa permet de capturer des dynamiques non linéaires et des trajectoires d'apprentissage divergentes, même sous des conditions initiales identiques.

La formation des prix est un point central du modèle, qui illustre comment, dans un marché local et décentralisé, les prix peuvent émerger spontanément en tant que mécanisme de coordination entre les acteurs, sans intervention d'un planificateur central. Les vendeurs ajustent peu à peu leurs stratégies tarifaires en s'appuyant sur leurs expériences antérieures, ce qui leur permet de stabiliser leur activité et de parvenir à un équilibre économique localement satisfaisant, en évitant le gaspillage de ressources.

Simulation

Les simulations mettent en évidence plusieurs dynamiques significatives quant aux conditions d'émergence et de stabilité des appariements entre acheteurs et vendeurs de coproduits. La figure 7 montre les interactions au sein d'une population synthétique de vendeurs (représentés par des carrés rouges) et ache-

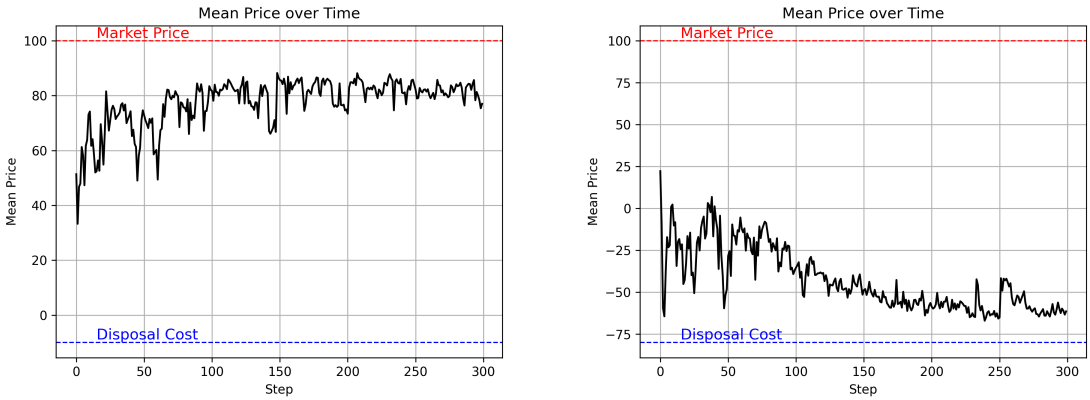

Figure 8 – Influence du prix de décharge sur le prix d'échange émergent : (a) prix de décharge faible (10%) ; (b) prix de décharge élevé (80%)

teurs (points bleus) dans un espace représentant la métropole toulousaine. Les connexions entre les acheteurs et les vendeurs représentent les transactions. L'épaisseur est proportionnelle au volume d'échange.

Le modèle montre que la localisation spatiale, les structures de coûts, et la capacité d'apprentissage des agents influencent fortement les dynamiques émergentes. Selon les paramètres, on observe soit une convergence vers des équilibres quasi-optimaux, soit l'apparition de déséquilibres persistants, comme une sous-utilisation chronique des coproduits. Comme on peut l'observer, la densité spatiale apparaît comme un facteur de première importance : les zones à forte concentration d'agents favorisent naturellement un grand nombre d'échanges, en réduisant les coûts de transport et en multipliant les opportunités de mise en relation.

Par ailleurs, la simulation du modèle révèle des dynamiques d'apprentissage, qui sont fortement influencées par les paramètres exogènes du modèle. La figure 8 montre par exemple l'évolution du prix moyen des transactions au cours du temps, pour différents coûts de mise à la décharge. Lorsque le coût de décharge est faible (10% du prix de marché), les agents parviennent à stabiliser leur stratégie autour de prix positifs, assez proches du prix du marché, et en tout cas bien au-dessus du coût d'élimination, traduisant une valorisation effective des coproduits dans un contexte incitatif. En revanche, lorsque le coût de décharge est élevé (80%), le prix moyen chute progressivement au fil des itérations, devenant même négatif. Cette configuration suggère que les vendeurs, pour éviter un coût de décharge prohibitif, acceptent de céder leurs produits à perte. Ce phénomène reflète un renversement du rapport de force, où les acheteurs bénéficient d'un pouvoir de négociation accru.

Le co-apprentissage itératif que nous proposons, qui repose uniquement sur des informations locales et partielles, permet au système de converger vers une configuration d'équilibre dans laquelle des règles de comportement stabilisées émergent et des prix s'ajustent à des niveaux endogènes, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas imposés de l'extérieur ni déterminés par une autorité centrale, mais résultent directement des interactions adaptatives entre agents. Ce processus reflète une formation de prix décentralisée, issue des décisions stratégiques prises localement en réponse à des contraintes spéci-

fiques et à l'évolution du marché environnant.

Conclusion

Le modèle présenté, fondé sur une modélisation multi-agents spatialisée et sur l'apprentissage par renforcement, met en évidence la complexité des dynamiques à l'œuvre dans l'émergence de mécanismes d'appariement décentralisés entre acheteurs et vendeurs de coproduits. Il permet d'analyser comment des agents rationnels, soumis à des contraintes spatiales, adaptent leurs décisions dans un environnement sans coordination centrale.

L'analyse comparative de scénarios souligne l'influence déterminante de paramètres structurels — tels que les mécanismes de tarification de l'élimination — sur la stabilité et la performance du système. En particulier, elle révèle comment des politiques incitatives peuvent orienter les acteurs vers des comportements plus durables.

Ce modèle s'inscrit dans une démarche plus large de simulation de phénomènes économiques non linéaires à l'aide d'approches distribuées. Il constitue un outil exploratoire pour les décideurs publics et les opérateurs territoriaux, en leur permettant d'évaluer l'impact potentiel de différents dispositifs de régulation sur l'autoorganisation de marchés circulaires locaux, sans recourir à une coordination centralisée.

Références

[1] A. Arnaud and B. David. La logistique au défi de la décroissance volontaire. In *La logistique : une approche innovante des organisations*, pages 205–215. 2013.

[2] H. Fernandez-Mena, B. Gaudou, S. Pellerin, G. K. MacDonald, and T. Nesme. Flows in agro-food networks (FAN) : An agent-based model to simulate local agricultural material flows. *Agricultural Systems*, 180 :102718, 2020.

[3] Daniel Friedman. The double auction market institution : A survey. In *The double auction market*, pages 3–26. Routledge, 2018.

[4] M. R. Ghali, J. M. Frayret, and C. Ahabchane. Agent-based model of self-organized industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 161 :452–465, 2017.

[5] V. Loubière, T. Huraux, and M. Mastio. Parcours de vie résilients : Une méthode systémique d'écologie territoriale pour une planification écologique ascendante. In *Congrés Interdisciplinaire sur l'Économie Circulaire*, 2024.

[6] J. Raimbault, J. Broere, M. Somveille, J. M. Serna, E. Strombom, C. Moore, and L. Sugar. A spatial agent based model for simulating and optimizing networked eco-industrial systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 155 :104538, 2020.

[7] Richard S Sutton and Andrew G Barto. Reinforcement learning : an introduction mit press. *Cambridge, MA*, 22447(10), 1998.

[8] U. Wilensky and W. Rand. *An Introduction to Agent-Based Modeling : Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. MIT Press, 2015.

[9] D. M. Yazan and L. Fraccascia. Sustainable operations of industrial symbiosis : an enterprise input-output model integrated by agent-based simulation. *International Journal of Production Research*, 58(2) :392–414, 2020.

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Apprentissage des équilibres de Stackelberg-Nash dans des jeux à information incomplète, pour la conception de politiques publiques : application à l'assurance forestière sous risques multiples

Par

Stéphane COUTURE
Unité MIAT / Equipe SCIDyn
Inrae
stephane.couture@inrae.fr
https://miat.inrae.fr/teams/scidyn/

Régis SABBADIN
regis.sabbadin@inrae.fr

Patrick TAILLANDIER
patrick.taillandier@inrae.fr

Meritxell VINYALS
meritxell.vinyals@inrae.fr

Introduction

Cet article présente un projet de recherche mené au sein de l'Unité MIAT de l'Inrae, à Toulouse, dans le cadre du métaprogramme XRisques. Il porte sur le développement de méthodes d'apprentissage par renforcement multi-agents pour la conception de politiques publiques d'incitation à l'assurance dans le domaine de la gestion forestière. Ce projet implique trois chercheurs en intelligence artificielle (théorie des jeux algorithmique, simulation multi-agents et apprentissage par renforcement) et un chercheur en économie (spécialiste de la prise de décision en univers risqué). Il se concrétisera, entre autres par un projet de thèse coencadrée, à l'interface entre économie et intelligence artificielle (IA).

Projet de recherche

Ce projet porte sur le calcul des équilibres de Stackelberg-Nash dans des jeux de type *single-leader multiple-followers* à information incomplète. En prenant l'exemple de l'assurance forestière, nous considérerons une famille de jeux modélisant les interactions stratégiques entre les propriétaires forestiers, les assureurs et l'État. Les propriétaires forestiers, motivés par des objectifs à court terme, interagissent avec des assureurs stratégiques qui, à leur tour, sont influencés par les politiques publiques proposées par l'État. Ce cadre, qui étend le modèle de base de [8], permet d'analyser les mécanismes d'incitation à l'assurance dans un contexte de risques multiples et d'incertitude.

La question de recherche méthodologique (en théorie des jeux algorithmique et IA) de la thèse réside dans la proposition d'algorithmes originaux de calcul d'équilibres de Stackelberg-Nash. Les joueurs n'ayant pas forcément connaissance des paramètres des autres joueurs, nous nous placerons dans le cadre des « jeux à information incomplète » [6]. Nous nous placerons également dans un cadre de décisions séquentielles, dans lequel les joueurs peuvent adapter leurs stratégies (adapter la proposition de contrats aux propositions des autres assureurs, moduler les incitations de l'état en réponse à la proportion observée de forestiers assurés, etc.) En conséquence, le pro-

blème de définition des incitations devient plus complexe. Dans ce cadre, un modèle de dynamique sera proposé, sur lequel des algorithmes d'apprentissage par renforcement multi-agents seront mis en œuvre.

Question de recherche sociétale et empirique. L'assurance est un outil de gestion important pour faire face aux risques multiples et à leurs conséquences. Cet outil existe dans le domaine forestier car les forêts privées sont considérées comme des biens assurables face à des risques climatiques comme la tempête et l'incendie, les deux principaux risques actuellement. Dans ce contexte, nous essayerons d'exhiber des pistes pour adapter le régime d'assurance actuel à des risques multiples liés au changement climatique en considérant explicitement les logiques et stratégies des acteurs du marché de l'assurance, propriétaires forestiers privés, assureurs et pouvoirs publics.

Aperçu de l'état actuel de ce domaine de recherche

Utilisation de l'IA pour l'aide à la conception des politiques publiques. Quelques travaux récents ont mis en évidence le potentiel de l'utilisation combinée des approches d'apprentissage automatique (notamment l'apprentissage par renforcement profond) et des modèles de simulation réalistes pour aider à la conception de politiques publiques. Par exemple, [3] proposent un agent de gouvernance capable d'ajuster les prix sur un marché de production en tenant compte de plusieurs objectifs environnementaux. [14] ont développé un outil de conception de politiques de taxation basé sur l'apprentissage profond, étendu au domaine des politiques de santé [15]. En couplant simulation multi-agents et agent de gouvernance [12], nous avons développé un cadre méthodologique pour concevoir des politiques publiques incitant à l'adoption d'innovations, avec une application dans l'agriculture. Cependant, aucun de ces travaux n'a abordé la conception de politiques publiques visant à encourager l'assurance, un domaine qui nécessite une représentation plus élaborée de la structure des risques et de l'aversion à ces risques des différents acteurs.

Algorithmes de calcul des équilibres de Stackelberg-Nash. Le calcul des équilibres de Stackelberg, largement étudié dans le cas d'un seul suiveur [2] et efficace en information complète, devient difficile lorsque l'information est incomplète (NP-difficile). Dans notre cas d'intérêt (un *leader*, l'État, et plusieurs suiveurs, les assureurs), il y a peu de résultats. [1] ont montré que trouver un équilibre de Stackelberg-Nash est déjà difficile avec seulement deux suiveurs. Pour tenir compte de cette complexité, [16, 11, 13] supposent une rationalité limitée chez les suiveurs. Cependant, dans notre cas les suiveurs sont des assureurs, et l'hypothèse de rationalité limitée est peu réaliste. En tant qu'acteurs économiques rationnels, ils sont susceptibles d'adopter des stratégies complexes et de prendre en compte l'ensemble des informations disponibles sur le jeu. D'autres études ont opté pour l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage du comportement de suiveurs dans un jeu *leader*-suiveur [10, 4]. [5] proposent une méthode de calcul d'équilibres de Stackelberg-Nash utilisant l'apprentissage par renforcement multi-agents. Mais, à de rares exceptions près [7, 9], ces travaux se placent dans le cadre des jeux à information complète, hypothèse encore une fois peu raisonnable.

Hypothèses de travail

Notre première hypothèse de travail, méthodologique et algorithmique, est qu'il est possible de développer des algorithmes d'apprentissage (par renforcement multi-agents) pour le calcul d'équilibres de Stackelberg dans

les jeux stochastiques *single-leader multiple-followers* à information incomplète. Cette question de recherche n'est pas encore l'objet d'études approfondies dans la littérature, à notre connaissance. Mais la modélisation et la simulation de tels modèles semblent à notre portée. Par ailleurs, notre expérience des algorithmes d'AR multi-agents devrait nous permettre de développer de tels algorithmes, efficaces, soit pour le cas générique, soit dans des cas particuliers, adaptés à l'étude de la conception de politiques publiques dans le domaine de l'assurance forestière.

Notre seconde hypothèse de travail est que nous trouverons suffisamment de données empiriques pour évaluer l'approche développée sur des modèles simulés réalistes et que les équilibres de ces modèles de jeux permettront de prédire l'impact des mesures d'incitation (surface forestière assurée, coût pour l'État, etc.) Les données portant sur les risques objectifs en foresterie (tempêtes, incendies, etc.) sont relativement aisément accessibles. Les données sur les contrats d'assurance forestière existants, ainsi que sur les politiques publiques d'incitation sont moins aisément accessibles, mais nous avons déjà récupéré de telles données pour développer le modèle proposé dans [8].

Références

[1] Nicola Basilico, Stefano Coniglio, and Nicola Gatti. Methods for finding leader–follower equilibria with multiple followers, 2017.

[2] Vincent Conitzer and Tuomas Sandholm. Computing the optimal strategy to commit to. In *Proceedings of the ACM Conference on Electronic Commerce*, pages 82–90, 2006.

[3] Panagiotis Danassis, Aris Filos-Ratsikas, and Boi Faltings. Achieving diverse objectives with AI-driven prices in deep reinforcement learning multi-agent markets. *arXiv preprint arXiv :2106.06060*, 2021.

[4] Tanner Fiez, Benjamin Chasnov, and Lillian J. Ratliff. Convergence of learning dynamics in stackelberg games, 2019.

[5] Maximilian Gerstgrasser and David C. Parkes. Oracles & followers : Stackelberg equilibria in deep multi-agent reinforcement learning. In *International Conference on Machine Learning*. PMLR, 2023.

[6] John C. Harsanyi. Games with incomplete information played by bayesian players. *Management Science*, 14(3, 5, 7) :159–183, 320–334, 486–502, 1968.

[7] Li Jiayang and et al. End-to-end learning and intervention in games. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 33, pages 16653–16665, 2020.

[8] Alexandre Lhuisset. Assurances forestières et politiques publiques : Une approche basée sur la théorie des jeux. Technical report, Inrae, 2024. Rapport du stage M1 Econométrie et Statistiques.

[9] Chaitanya Maheshwari, Kartikeya Kulkarni, Mengdi Wu, and Shankar Sastry. Adaptive incentive design with learning agents. *arXiv preprint arXiv :2405.16716*, 2024.

[10] Bo Peng, Weinan Shen, Pingzhong Tang, and Shuang Zuo. Learning optimal strategies to commit to. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pages 2149–2156, 2019.

[11] Kurian Tharakunnel and Sudipto Bhattacharyya. Single-leader–multiple-follower games with boundedly rational agents. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 33(8) :1593–1603, 2009.

[12] Meritxell Vinyals and et al. Toward AI-designed innovation diffusion policies using agent-based simulations and reinforcement learning : The case of digital tool

adoption in agriculture. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, 9, 2023.

[13] Jun Wu and et al. Inverse game theory for stackelberg games : the blessing of bounded rationality. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 35, pages 32186–32198, 2022.

[14] Siyuan Zheng and et al. The AI economist : Improving equality and productivity with AI-driven tax policies. *arXiv preprint arXiv :2004.13332*, 2020.

[15] Siyuan Zheng and et al. The AI economist : Taxation policy design via two-level deep multiagent reinforcement learning. *Science advances*, 8(18) :eabk2607, 2022.

[16] Haizhou Zhong, Ziyi Yang, Zhen Wang, and Michael I. Jordan. Can reinforcement learning find Stackelberg-Nash equilibria in general-sum markov games with myopic followers ? *arXiv preprint arXiv :2112.1352*, 2021.

Monte Carlo Tree Search pour la politique monétaire : une approche par planification séquentielle

Par

Tristan CAZENAVE
LAMSADE
Université Paris Dauphine-PSL
tristan.cazenave@lamsade.dauphine.fr

Mouhssine RIFAKI
Université Paris Dauphine-PSL
mouhssine.rifaki@dauphine.eu

Introduction

Nous explorons l'application de *Monte Carlo Tree Search* (MCTS) à la politique monétaire. Notre système DSGE-MCTS montre des gains de bien-être allant jusqu'à 19 points de base en situation de crise par rapport aux règles de politique monétaire traditionnelles.

Les banques centrales utilisent principalement des règles de politique monétaire comme la règle de Taylor et ses variantes. Ces règles, basées sur des formules linéaires, peuvent présenter des limites face à des situations économiques complexes : contraintes de taux zéro, crises financières, chocs d'offre importants.

Notre approche utilise des méthodes de planification séquentielle issues de l'intelligence artificielle. Au lieu de suivre une formule préétablie, nous transformons chaque décision de taux d'intérêt en problème de planification où l'algorithme simule des milliers de trajectoires économiques possibles pour évaluer différentes options de politique monétaire.

Nos résultats principaux de nos simulations sont :

- Le gain de bien-être : jusqu'à +19 points de base en situation de crise
- Le temps d'exécution : 0.5 seconde sur 64 cœurs
- La comparaison avec règles existantes sur modèle calibré.

Architecture DSGE-MCTS : fusion de deux approches

Notre contribution combine deux approches complémentaires :

1. Monte Carlo Tree Search (MCTS) : Un

algorithme de planification qui a montré son efficacité dans des domaines complexes comme les jeux de stratégie [3, 1]. MCTS explore efficacement des espaces décisionnels vastes en présence d'incertitude.
2. Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) : Les modèles macroéconomiques standards utilisés pour l'analyse de politique monétaire. Ces modèles capturent les interactions entre agents économiques dans un cadre d'équilibre général.

Framework. Notre *framework* fonctionne en quatre étapes :

1. **Représentation d'état** : À chaque trimestre t, l'état $s_t = (x_t, z_t, E_t x_{t+1}, \Theta_t)$ encode les variables endogènes (inflation, production), les chocs exogènes (productivité, demande), les anticipations rationnelles et les statistiques du nœud.
2. **Espace d'action** : Le taux d'intérêt nominal $a_t \in \mathcal{A}$ est discrétisé en **41 points espacés de 5 points de base au nœud racine** (décision réelle). Dans l'arbre de recherche, pour économiser les ressources computationnelles, chaque nœud interne commence avec seulement 5 actions. L'élargissement progressif (*progressive widening*) [2] ajoute dynamiquement de nouveaux points selon $N(s)^{1/3}$ à mesure que le nœud est visité, permettant d'explorer progressivement l'espace d'actions dans les branches prometteuses.
3. **Fonction de récompense** : Le bien-être social instantané :
$$u(s_t, a_t) = \Delta C_t - \frac{\lambda_\pi}{2}\pi_t^2 - \frac{\lambda_y}{2}y_t^2$$
avec $(\lambda_\pi, \lambda_y) = (1.5, 0.1)$ suivant la calibration de Smets-Wouters [8].
4. **Dynamique de transition** : Le modèle DSGE génère $s_{t+1} = \mathcal{F}(s_t, a_t, \varepsilon_{t+1})$ via la solution OccBin [4] pour gérer les contraintes non-linéaires (taux zéro).

L'algorithme de planification

À chaque décision trimestrielle, DSGE-MCTS exécute $M = 5000$ simulations Monte Carlo structurées par l'heuristique PUCT [6, 7], c.-à-d. que l'UCB(s, a) est donné par :

$$\bar{Q}(s,a) + c_{\text{PUCT}} \times P(s,a) \times \frac{\sqrt{\sum_b N(s,b)}}{1 + N(s,a)}$$

où $\bar{Q}(s, a)$ est la valeur moyenne estimée, $P(s, a)$ le prior généré par un réseau de neurones, et $c_{\text{PUCT}} = 1.5$ la constante d'exploration.

L'architecture du réseau de neurones pour la *prior* $P(s, a)$ est définie comme :

- Entrée : l'état économique s_t (vecteur de dimension d) contenant : variables endogènes (inflation, output gap, consommation, etc.) ; chocs exogènes (productivité, demande, etc.) ; anticipations rationnelles des agents ; statistiques des nœuds de l'arbre.
- Architecture : Réseau *feedforward* à 3 couches (256 neurones $\rightarrow$ 128 neurones $\rightarrow$ 64 neurones $\rightarrow$ sortie), avec une activation *ReLU* entre les couches.
- Sorties : Probabilités $P(s, a)$ pour chaque action a possible (distribution de probabilité sur les 41 taux d'intérêt au nœud racine)

Le réseau a été entraîné hors-ligne sur 1,5 million d'états de simulation pour prédire les meilleures actions selon l'historique des simulations. L'architecture a été sélectionnée après tests comparatifs sur plusieurs configurations.

Caractéristique notable : prise en compte des risques futurs. Contrairement aux règles traditionnelles qui réagissent principalement aux conditions courantes, MCTS évalue systématiquement les conséquences futures des décisions. Dans nos simulations, l'algorithme tend à assouplir la politique monétaire lorsque la probabilité de chocs négatifs augmente dans l'arbre de recherche.

Convergence théorique. Nous prouvons que sous les hypothèses de récompenses bornées et transitions Lipschitz, l'erreur d'estimation vérifie :

$$|\bar{Q}_M - Q^*| \leq C(H)M^{-1/2}$$

avec $C(H) = \sqrt{(\bar{r} - \underline{r})^2 H^2/(2(1-\beta)^2)}$. Pour $M = 5000$, l'erreur est inférieure à 0.01 point de bien-être.

Résultats empiriques

Nous évaluons DSGE-MCTS sur un modèle néo-keynésien calibré sur données américaines (1984-2019). Trois scénarios testent la robustesse :

	Gain de bien-être (bp de consommation)		
Politique	Normal	Crise 5σ	Taux Zéro
Taylor	0.0	0.0	0.0
Optimisation linéaire	+4.1	+6.6	+3.8
Ramsey	+9.7	+12.4	+10.1
DSGE-MCTS	**+11.3**	**+18.9**	**+15.5**

Analyse des mécanismes. Les gains observés proviennent de deux sources :

1. Non-linéarité : MCTS prend en compte explicitement les régimes futurs de taux zéro dans son arbre de recherche, contrairement aux approches linéaires-quadratiques.
2. Exploration pondérée par le risque : L'échantillonnage Monte Carlo permet une meilleure évaluation des scénarios de queue de distribution [5].

Performance computationnelle. Sur architecture Intel Xeon Gold 6248R :

- **Temps par décision** : 0.5s (5000 rollouts, 64 cœurs), soit suffisamment rapide pour une utilisation en temps réel.
- **Passage à l'échelle** : quasi-linéaire jusqu'à 128 cœurs.
- **Mémoire** : 8GB pour arbre complet (horizon 12 trimestres).

Étude de cas : simulation d'un choc majeur

Pour illustrer le comportement de DSGE-MCTS face à des chocs économiques majeurs, nous simulons un scénario où des tensions économiques croissantes (hausse des *spreads* de crédit, volatilité financière) précèdent un choc de demande négatif important.

Dans ce scénario, DSGE-MCTS détecte l'augmentation du risque de récession à travers ses simulations Monte Carlo qui capturent la hausse de probabilité de trajectoires défavorables. L'algorithme répond en assouplissant préventivement la politique monétaire, réduisant ainsi l'impact du choc lorsqu'il se matérialise.

Les résultats de la simulation sont :

- Réaction préventive 2-3 trimestres avant le choc principal.
- Réduction de l'amplitude de la récession dans le modèle.
- Stabilisation plus rapide de l'inflation autour de la cible.

Note importante : Ces résultats sont obtenus dans le cadre d'un modèle DSGE calibré et ne constituent pas des prédictions pour l'économie réelle.

Extensions et perspectives

Multi-agents et coordination internationale. Nous explorons une extension où plusieurs banques centrales utilisent DSGE-MCTS simultanément. Les résultats préliminaires suggèrent des gains potentiels de coordination.

Apprentissage des paramètres structurels. Notre approche pourrait s'adapter à l'apprentissage en ligne des paramètres du modèle DSGE via maximum de vraisemblance sur données temps réel.

Interface pour analyse de scénarios. Un prototype permet d'explorer l'arbre de décision et de tester différents scénarios économiques.

Implications et limites

Notre travail suggère que les techniques de planification séquentielle peuvent apporter des contributions utiles à l'analyse de politique monétaire. Les résultats obtenus dans notre cadre de simulation montrent des gains de bien-être potentiels par rapport aux règles traditionnelles.

Les limites de cette approche sont les suivantes :

- Les résultats dépendent de la spécification et calibration du modèle DSGE.
- L'approche nécessite des ressources computationnelles non négligeables (64 cœurs pour performance optimale).
- La transition vers une utilisation pratique nécessiterait des tests extensifs.

Au-delà de la politique monétaire, l'approche MCTS pourrait s'appliquer à d'autres domaines de politique économique nécessitant des décisions séquentielles sous incertitude.

Message clé. Les méthodes de planification séquentielle offrent de nouvelles perspectives pour l'analyse de politique monétaire, en complément des approches traditionnelles.

Contact pour collaboration. Les auteurs accueillent les collaborations avec les institutions internationales pour tester DSGE-MCTS sur modèles propriétaires.

Références

[1] Cameron B. Browne et al. A survey of Monte Carlo tree search methods. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 4(1) :–43, 2012.

[2] Adrien Couëtoux, Jean-Baptiste Hoock, Nataliya Sokolovska, Olivier Teytaud, and Nicolas Bonnard. Continuous upper confidence trees. In *5th International Conference on Learning and Intelligent Optimization*, pages 433–445. Springer, 2011.

[3] Rémi Coulom. Efficient selectivity and backup operators in Monte-Carlo tree search. In *International Conference on Computers and Games*, pages 72–83, 2006.

[4] Luca Guerrieri and Matteo Iacoviello. OccBin : A toolkit for solving dynamic models with occasionally binding constraints easily. *Journal of Monetary Economics*, 70 :22–38, 2015.

[5] Conor F. Hayes, Mathieu Reymond, Diederik M. Roijers, Enda Howley, and Patrick Mannion. Monte Carlo tree search algorithms for risk-aware and multi-objective reinforcement learning. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 37(2) :26, 2023.

[6] David Silver et al. Mastering the game of go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 529 :484–489, 2016.

[7] David Silver et al. Mastering chess and shogi by self-play with a general reinforcement learning algorithm. *arXiv preprint arXiv :1712.01815*, 2017.

[8] Frank Smets and Raf Wouters. Shocks and frictions in us business cycles : A bayesian DSGE approach. *American Economic Review*, 97(3) :586–606, 2007.

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Outils prédictifs de l'affluence touristique

Par

Anaïs PICOT
ER&D / Digital Continuity and Manufacturing
Capgemini Engineering
anais.picot@capgemini.com
www.capgemini.com

Yann STAUS
yann.staus@capgemini.com

Nicolas COINTE
nicolas.cointe@capgemini.com

Introduction

La prévision quantitative et qualitative de l'affluence touristique sur une région à une période donnée constitue une activité critique relevant d'enjeux économiques, financiers, sanitaires et sécuritaires, autant pour des organismes publics que privés. De la capacité à anticiper cette affluence va souvent dépendre l'adaptation de la mise à disposition de moyens, la planification d'activités de maintenance et de rénovation, l'ajustement de capacités de personnel saisonnier ou la prise de dispositions légales particulières. Notre article propose un état de l'art des travaux portant sur cette problématique et souligne des pistes de réflexion qui guident notre travail d'implémentation d'un outil visant à relever une partie de ces défis en proposant aux acteurs concernés une plateforme de prévision de l'affluence et de partage volontaire d'informations.

Définition du problème

Le problème que nous abordons ici relève de la planification sous incertitude dans un environnement partiellement observable et non-linéaire. Le caractère partiellement observable tient de réalités économiques et légales en plus de l'incapacité à connaître parfaitement les motivations des décisions humaines : l'affluence réelle n'est pas connue, mais estimée via une multitude d'indicateurs tels que des réservations d'hébergements, de transports ou des données de billetterie. Ces informations sont sensibles pour les acteurs économiques, et peu ou pas partagées aux autres entités. Les usagers du système (industriels du tourisme, transporteurs, hôpitaux, services de maintien de l'ordre, etc.) cherchent à connaître à l'avance des indicateurs quantitatifs (*e. g.* le nombre et la durée de séjours) et qualitatifs (*e. g.* l'âge, les centres d'intérêt, le budget) du flux touristique sur une région donnée. Le tourisme étant pour de nombreuses régions une activité avec de fortes variations de volume composées de pics saisonniers, les acteurs publics et privés peuvent avoir un intérêt économique à ajuster leurs coûts de fonctionnement (par exemple en investissant dans du matériel ou en employant des salariés saisonniers) à ces fluctuations. Leur anticipation est un enjeu de performance économique, de sécurité et de protection de l'environnement, mais se heurte à la difficulté d'accéder à des données et à des indicateurs fiables.

Outils prédictifs par apprentissage

Le problème de la prévision de flux touristique peut être vu comme de la prédiction d'évolution d'une série temporelle représentant des fluctuations de visiteurs au cours du temps, avec des motifs réguliers représentant le ca-

ractère saisonnier de l'activité : des pics d'affluence peuvent être corrélés avec des périodes estivales, sur des évènements, sur des périodes de vacances scolaires, etc.

Des travaux d'apprentissage automatique ont montré l'efficacité de divers outils sur la prédiction de flux touristiques à partir de données historiques, par exemple par l'emploi de réseaux de neurones [8] ou d'approches hybrides mêlant algorithmes génétiques à des méthodes de régression [3]. Les données historiques sur leur propre ventes constituent bien souvent les seules données immédiatement disponibles pour les acteurs économiques. Le déploiement de ces outils est relativement aisé, si les acteurs concernés ont un minimum d'ancienneté et en supposant que le système ait un comportement reproduisant des motifs saisonniers.

Toutefois, ces travaux se focalisent sur ces seules données historiques d'affluence et ne capturent pas l'influence des autres paramètres tels que les données météorologiques, le contexte économique (prix, taux de change, attractivité), l'image sur les réseaux sociaux ou les aspects sécuritaires. Ces facteurs ont pourtant été identifiés par des travaux d'économie comme ayant un impact significatif sur l'affluence [5] et ces écarts caractéristiques de *saisons* touristiques ont des conséquences économiques sur les acteurs concernés. De plus, ces travaux se focalisent sur un acteur seul, sans prendre en compte la présence d'autres acteurs de l'ecosystème (lieux d'attraction, hébergement, transporteur, etc.), et considèrent la population de touristes comme un ensemble homogène.

Enfin, les acteurs du secteur manquent également d'explicabilité sur les résultats donnés par ces approches, pouvant rendre une prédiction difficile à considérer dans une décision pour un responsable comptable de décisions ayant un impact économique, environnemental ou sécuritaire. La confiance d'un utilisateur dans un tel système, pour son acceptation et son usage effectif dans la prise de décisions dépasse le seul critère de précision et de fiabilité du modèle [4].

Intégration d'informations descriptives

L'observation de l'environnement des agents économiques peut être élargi au-delà des seules informations historiques sur l'affluence enregistrée sur leur propre activité et peut intégrer des informations disponibles publiquement. Ces informations peuvent par exemple être l'observation des dynamiques de réservations d'hébergement sur de futures saisons, les réservations de transports, les billetteries d'évènements, l'enthousiasme et les dynamiques d'opinion sur des réseaux sociaux, etc. Relevons que de nombreux organismes publics et privés mettent à disposition des API permettant de faciliter l'intégration d'informations sur leurs activités.

Relevons également la problématique de la prise en compte de données qualitatives et d'évènements ponctuels lorsque ceux-ci sont avant tout décrit par du langage naturel : par exemple le cas d'attaques ou de menaces terroristes, de catastrophes naturelles ou de conflits. Des travaux utilisant du *web scrapping* pour collecter des données disponibles via des sites proposant des informations de réservation et d'évaluation de prestations ont étudié l'impact d'évènements dramatiques et des mesures prises par les acteurs locaux sur l'appréciation des touristes [6]. Ce type d'outils permet de construire une métrique de popularité d'un site ou d'un service.

Plus globalement, l'analyse automatisée d'évènements locaux et la modélisation de leur impact sur l'activité touristique relève de problèmes classiques de traitement du langage naturel et de représentation des connaissances. Des sources hétérogènes peuvent nommer des lieux, des évènements ou des entités de ma-

nière ambiguës. L'identification et la reconstitution de liens sémantiques entre ces entités demande l'élaboration préalable de domaines d'ontologies permettant de décrire les classes et propriétés spécifiques à l'industrie du tourisme [9]. L'exploitation de sources en langage naturel pour identifier les individus correspondants semble encore aujourd'hui principalement confiné à des usages de systèmes de recommandation [1].

L'analyse de sentiments à partir du vocabulaire employé dans des supports textuels est aussi mentionnée comme une piste pour fournir une première estimation d'appréciation de sites touristiques via de l'analyse de commentaires et de recommandations [10]. Un tel outil, pour le gestionnaire du service touristique concerné ou en lien direct avec celui-ci, offre par exemple un moyen de collecte des retours de satisfaction. Cela semble constituer une piste à évaluer pour offrir un outil d'estimation de l'impact d'évènements à venir sur l'attractivité touristique en observant par exemple les commentaires rédigés sur les annonces de tels évènements ou sur des réseaux sociaux.

Aspects sociaux

En élargissant la définition du système étudié à la dimension sociale et à l'étude de la communication, il devient possible d'étudier le rôle des réseaux sociaux et des influenceurs sur l'activité touristique, et constater que la publication de contenus sur ces médias a une influence sur les choix de destinations touristiques [7].

L'introduction de l'étude sociologique des populations de touristes amène à ne plus considérer ce groupe comme homogène, mais à distinguer des classes de touristes en fonction de leurs attributs (âge, catégorie socio-professionnelle, budget, intérêts, etc.) et d'y associer des traits de comportements spécifiques [12].

La modélisation d'une population de touristes et de son comportement à l'aide de systèmes multi-agents permet par exemple d'explorer des questions d'allocation de ressources telles que l'usage des sols [2] ou des ressources hydriques entre populations locales et populations de touristes, ou encore d'adapter des politiques publiques et des plans d'évacuations en évaluant par simulation l'impact du comportement de cette partie de la population en cas de catastrophe [11]. L'impact du surtourisme et de la dégradation de l'environnement étant une préoccupation croissante de politiques publiques, nous envisageons aussi la conception d'outils permettant de prévenir ces désagréments et aider à l'adaptation de politiques locales, en évaluant des scénarios, envisageant des mesures, espaces et durées diverses pour en optimiser les coûts et l'efficacité (par exemple restreindre la circulation dans un centre-ville durant une période de forte affluence).

Conclusion

Nous avons cherché ici à brosser un panorama de la contribution de divers outils d'intelligence artificielle à l'analyse et l'étude d'écosystèmes touristiques régionaux pour en comprendre la dynamique. Nous avons rappelé l'intérêt, pour des acteurs publics ou privés liés à l'industrie touristique, de disposer d'outils d'aide à la décision pour la planification de leurs activités.

Des travaux portant sur des modèles d'apprentissage ont montré leur capacité à capturer des motifs saisonniers et à s'ajuster en fonction des variations entre saisons pour faire de la prédiction de volumes. Les travaux se limitent hélas souvent à de l'entraînement sur des données d'affluence historique sans capturer l'impact de facteurs externes.

Des travaux de traitement de la langue naturelle et de représentation de la connaissance ont également fait la démonstration de leur in-

térêt pour décrire ces écosystèmes et mesurer l'appréciation d'éléments de ce système, situés dans l'espace et le temps.

Enfin l'aspect social et les dynamiques d'opinions et de comportements sont également un objet d'étude pouvant par exemple être abordés avec des systèmes multi-agents afin de pouvoir représenter des populations hétérogènes dans leurs préférences et comportements pour simuler des situations et permettre d'éclairer la prise de décision afin de minimiser des risques sécuritaires ou environnementaux. Cela pourrait éclairer des décisions d'adaptation à la fois de moyens industriels (par exemple la production de biens destinés aux touristes), d'infrastructures (par exemple des moyens de transport) et également de politiques publiques (par exemple l'imposition de quota maximum de locations de courtes durées ou fermeture de centre-villes à la circulation routière).

Nous avons pour ambition d'explorer dans nos prochains travaux la possibilité d'intégrer plusieurs de ces approches dans une plateforme et confronter à des données réelles la qualité des prédictions et recommandations générées.

Références

[1] Miguel Á Álvarez-Carmona, Ramón Aranda, Ansel Y Rodríguez-Gonzalez, Daniel Fajardo-Delgado, María Guadalupe Sánchez, Humberto Pérez-Espinosa, Juan Martínez-Miranda, Rafael Guerrero-Rodríguez, Lázaro Bustio-Martínez, and Ángel Díaz-Pacheco. Natural language processing applied to tourism research : A systematic review and future research directions. *Journal of king Saud university-computer and information sciences*, 34(10) :10125–10144, 2022.

[2] Antoine Belgodere, Alexandre Muzy, Eric Innocenti, and Sauveur Giannoni. Modelling and simulation of tourist land uses through a multiagent system. In *2006 First International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area*, pages 351–354. IEEE, 2006.

[3] Rong Chen, Chang-Yong Liang, Wei-Chiang Hong, and Dong-Xiao Gu. Forecasting holiday daily tourist flow based on seasonal support vector regression with adaptive genetic algorithm. *Applied Soft Computing*, 26 :435–443, 2015.

[4] Andrea Ferrario and Michele Loi. How explainability contributes to trust in AI. In *Proceedings of the 2022 ACM conference on fairness, accountability, and transparency*, pages 1457–1466, 2022.

[5] Henok Bekele Gidebo. Factors determining international tourist flow to tourism destinations : A systematic review. *Journal of Hospitality Management and Tourism*, 12(1) :9–17, 2021.

[6] Yulin Hao. Paris terrorist attacks and hotel word-of-mouth. Master's thesis, Sciences Po Paris, 2020.

[7] Mohsin Javed, Zuzana Tučková, and Abdul Bashiru Jibril. The role of social media on tourists' behavior : An empirical analysis of millennials from the Czech republic. *Sustainability*, 12(18) :7735, 2020.

[8] YiFei Li and Han Cao. Prediction for tourism flow based on LSTM neural network. *Procedia Computer Science*, 129 :277–283, 2018. 2017 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things.

[9] Ramona Markoska and Aleksandar Markoski. The semantic web conceptual solution and working ontology for tourism ecosystem. In *Proceedings of the 8th International Conference on Information Society and Technology*, volume 2, pages 327–332. Society for Information Systems and Computer Networks Belgrade, 2018.

[10] Marcelino Sánchez-Rivero, Luis Murillo-González, and María Cristina Rodríguez-Rangel. Tourism management through natural language processing and sentiment analysis. a case study of the main natural areas of Extremadura, spain. *Tourism : An International Interdisciplinary Journal*, 73(1) :169–185, 2025.

[11] Tomoyuki Takabatake, Tomoya Shibayama, Miguel Esteban, Hidenori Ishii, and Go Hamano. Simulated tsunami evacuation behavior of local residents and visitors in Kamakura, japan. *International journal of disaster risk reduction*, 23 :1–14, 2017.

[12] Puwei Zhang, Jia Wang, and Rui Li. Tourism-type ontology framework for tourism-type classification, naming, and knowledge organization. *Heliyon*, 9(4), 2023.

AfIA

Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Comptes rendus de journées, événements et conférences

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

GAS'25 : « Gestion et Analyse de données Sportives »

Par

Clément IPHAR
LETG
Université de Bretagne Occidentale
clement.iphar@univ-brest.fr

Aurélie LEBORGNE
ICube
Université de Strasbourg
aurelie.leborgne@unistra.fr

Nida MEDDOURI
LRE
EPITA
nida.meddouri@epita.fr

Loïc SALMON
ISEA
Université de la Nouvelle-Calédonie
loic.salmon@unc.nc

Albrecht ZIMMERMANN
GREYC
Université de Caen Normandie
albrecht.zimmermann@unicaen.fr

Introduction

La journée « Gestion et Analyse de données Sportives » (GAS'25) fut organisée dans les locaux de l'Université de Caen Normandie, à Caen par le groupe de travail GAST (Gestion et Analyse de données Spatiales et Temporelles), composé de Clément IPHAR (Université de Bretagne Occidentale), Aurélie LEBORGNE (Université de Strasbourg), Nida MEDDOURI (EPITA) et Loïc SALMON (Université de la Nouvelle-Calédonie), avec l'appui d'Albrecht ZIMMERMANN (Université de Caen Normandie). Cette journée a reçu le soutien financier et matériel de l'association EGC (Extraction et Gestion de Connaissances) et de l'AFIA. Nous avons également reçu le soutien financier du projet HITI (ANR-21-CE27-0012) et le soutien matériel du personnel de l'Université de Caen Normandie, que nous remercions chaleureusement.

Le groupe de travail GAST est activement soutenu par les associations EGC et AFIA, et il se positionne à l'intersection des communautés extraction et gestion de Connaissances, des systèmes de gestion de l'information Spatiale et de l'intelligence artificielle. Il organise annuellement un atelier qui se tient en marge de la conférence EGC, ainsi qu'une journée thématique. Cette année, cette journée porte sur le thème des données sportives.

En effet, dans un monde où la collecte et l'exploitation des données prennent une place centrale, le domaine du sport n'échappe pas à cette révolution numérique. L'essor des nouvelles technologies, des capteurs embarqués aux systèmes avancés d'analyse vidéo, permet aujourd'hui d'extraire, de modéliser et d'interpréter une quantité croissante d'informations sur la performance des athlètes, les dynamiques de jeu et les comportements des pratiquants. Cette journée thématique GAS'25 consacrée à la gestion et l'analyse des données sportives vise à explorer différentes approches méthodologiques et applications concrètes dans divers contextes sportifs. Cette journée commune AFIA/EGC autour des données sportives a donc pour but de réunir des acteurs du domaine pour échanger sur leurs expériences et leurs travaux respectifs, que ce soit à propos du développement de nouvelles méthodes de traitement des données, d'applications spécifiques en lien avec ces données ou encore des défis techniques actuels et des futures opportunités.

Au cours de cette journée, organisée le 13 mai 2025 à l'Université de Caen Normandie, nous avons accueilli un total d'une trentaine de personnes en présentiel, et d'une quinzaine de personnes connectées en ligne.

Programme

9h00. Accueil
9h30. Mot de bienvenue par Nida MEDDOURI, présentation de l'AFIA par Thomas GUYET, du GT GAST par Loïc SALMON et d'EGC par Nida MEDDOURI avec la lecture d'un texte de Bruno PINAUD
10h00. « Évaluer les comportements des adolescents en matière d'activité physique à l'aide des données d'accéléromètre », par Guillaume WATTELEZ (LIRE / Université de la Nouvelle-Calédonie)
10h45. Pause-café
11h45. « Observatoire de la tactique en (e-)sport collectif », par Alexis MORTELIER (GREYC / Université de Caen Normandie)
11h00. « Modélisation par les graphes de phénomènes spatio-temporels issus de sports collectifs », par Camille GRANGE (LITIS / Université Le Havre Normandie)
12h30. Pause déjeuner
13h45. Session Posters : discussions autour des posters de Jérémie OCHIN (CAOR / Mines Paris – PSL), de Vangtao FANG (IP Paris) et Rémi VERRONNEAU (CREST / ENSAE)
14h15. « Apprentissage profond pour l'analyse des mouvements de rééducation », par Maxime DEVANNE (IRIMAS / Université de Haute-Alsace)
15h00. « Différents types de modèles markoviens et applications en natation et escalade », par Nicolas VERGNE (LMRS / Université de Rouen Normandie)
15h45. Pause-café
16h00. « Exploitation des données tennis provenant des sites d'information et des systèmes vidéo de motion capture », par Nicolas BENGUIGUI (CIREVE-GREYC / Université de Caen Normandie)
16h45. « Découvrir les tactiques à partir des données des sports d'équipe », par Albrecht ZIMMERMANN (GREYC / Université de Caen Normandie)
17h30. Clôture de la journée

Résumé des interventions

Résumé de l'intervention de Guillaume WATTELEZ. Les enfants et les adolescents vivant dans le Pacifique sont très touchés par le problème de surpoids et d'obésité. En effet, la prévalence de l'obésité infantile peut atteindre plus de 20% dans la plupart des pays polynésiens et mélanésiens, voire plus de 30% chez les adolescents. Pour mieux comprendre le comportement des adolescents en matière d'activité physique (AP), des mesures objectives sont enregistrées à l'aide d'accéléromètres afin d'obtenir des estimations précises de leurs mouvements et des niveaux d'AP associés.

Résumé de l'intervention d'Alexis MORTELIER. Ces travaux explorent les dynamiques de jeu et les performances collectives en alternant entre les analyses de sports traditionnels, comme le handball, et des e-sports, tels que DotA2 et OverWatch. L'objectif est de segmenter le processus de traitement des données en plusieurs étapes, chacune apportant une compréhension spécifique. En adoptant une approche comparative entre sport et e-sport, ce travail non seulement distingue les différentes étapes de traitement des données, mais propose également une vue d'ensemble de l'analyse du (e-)sport. La première contribution réside dans le développement de techniques de représentation des matchs de handball à l'aide de graphes dynamiques, ainsi que dans la simplification des trajectoires dans DotA2 grâce à des indices géométriques. Ces méthodes permettent une meilleure visualisation et compréhension des mouvements collectifs. La deuxième contribution se concentre sur la définition et le calcul de métriques de perfor-

mance, essentielles pour l'apprentissage automatique. Des modèles d'*expected goal* (xG) pour le handball et des facteurs d'engagement dans OverWatch ont été élaborés pour servir de cibles aux algorithmes. La troisième contribution est la création d'un observatoire tactique dédié au handball, et l'étude des mutations géométriques dans DotA2 qui mènent à des événements clés. Ces analyses approfondissent la compréhension des tactiques qui influencent le déroulement des matchs.

Résumé de l'intervention de Camille GRANGE. Nous proposons un modèle de graphes permettant de représenter des possessions dans les sports collectifs. Le modèle contient des informations à la fois spatiales et temporelles : une possession est représentée comme un chemin avec des étiquettes temporelles et sémantiques, chemin qui est dans un graphe statique défini *a priori*. Nous utilisons notre modèle pour distinguer différents comportements d'équipes, avec une première application numérique pour le cas du rugby touché.

Résumé de l'intervention de Maxime DEVANNE. L'analyse du mouvement humain joue un rôle essentiel en rééducation, mais elle reste confrontée à des défis liés au manque de données annotées et à la complexité de l'évaluation des mouvements. Les approches basées sur les données, en particulier l'apprentissage profond, ont transformé ce domaine en permettant une évaluation automatisée de la rééducation. Dans cette présentation, nous explorerons les avancées récentes en analyse de séries temporelles pour une évaluation efficace et interprétable des mouvements de rééducation. Nous aborderons les principaux défis, notamment la génération de données augmentées cohérentes, la conception de modèles légers mais performants, ainsi que l'exploitation de jeux de données cliniques réels. Enfin, nous présenterons quelques contributions répondant à ces défis, réalisées dans le cadre du projet ANR DELEGATION.

Résumé de l'intervention de Nicolas VERGNE. Les modèles de type markoviens permettent de traiter de données dépendantes, en conditionnant la probabilité d'un état à l'instant présent par l'état de l'instant précédent. Après une brève description des modèles de Markov classiques, deux extensions de ces modèles seront présentées : les modèles de Markov dérivants et les modèles semi-markoviens. La construction toute récente de modèles dérivants semi-markoviens sera ensuite discutée. Enfin les modèles de Markov dérivants seront appliqués à des données issues de natation et d'escalade.

Résumé de l'intervention de Nicolas BENGUIGUI. Le sport professionnel est aujourd'hui alimenté par de nombreuses sources d'informations. Ces informations correspondent aux caractéristiques des sportifs et sportives mais aussi à leurs performances. Au tennis, les sites de l'ATP pour les hommes et de de la WTA pour les femmes fournissent des fiches signalétiques depuis le début des années 1970. Concernant les performances réalisées, depuis 2006, les matches sont couverts par des systèmes d'analyse vidéo qui permettent de capturer les déplacements de la balle et des joueurs et joueuses. Deux exemples peuvent être donnés dans l'exploitation de ces sources d'informations. Pour les données concernant les joueurs et les joueuses, nous avons relevé la proportion de joueurs et de joueuses utilisant le revers à une main et à deux mains dans les 100 premiers mondiaux à l'issue de chaque année sportive. Pour questionner l'évolution des techniques dans le sport de haut-niveau. Cette étude nous a permis de montrer que la tran-

sition du revers à une main s'est opérée sur une durée de 40 ans chez les femmes avec la quasi disparition du revers à une main, et sur une période de 50 ans qui n'est pas vraiment terminée chez les hommes et qui laisse penser à une possible persistance très minoritaire du revers à une main. Concernant les données provenant des systèmes de capture du mouvement, deux études ont été présentés. La première porte sur une analyses de grande envergure rassemblant plus de 250 000 services dans le tennis masculin professionnel entre 2003 et 2008 pour quantifier les principes d'efficacité du service en termes de vitesse positionnement et effet de balle (Mecheri *et al.*, 2016, Statistical Analysis and Data Mining). La seconde porte sur la validation d'une stratégie d'occupation du terrain qui avait été proposé par le célèbre joueur français de Coupe Davis Henri Cochet dès les années 1920 (Benguigui *et al.*, 2024, Scientific reports).

Résumé de l'intervention d'Albrecht ZIMMERMANN. Les tactiques des sports d'équipe concernent qui (quel joueur et/ou rôle de joueur) fait quoi (en termes d'actions légales, ce qui inclut les déplacements) où sur le terrain, le court ou quel que soit le nom du terrain de jeu, potentiellement modifié par le moment (dans le chronomètre de tir, le chronomètre de jeu, etc.) La présentation a été utilisée pour pour aborder rapidement ces différents aspects (à l'exclusion du temps) en résumant un certain nombre d'ouvrages de la littérature. Les lignes ne sont pas toujours clairement tracées : certains articles mélangent ce que font les athlètes avec le lieu où cela se produit ou avec qui le fait. La partie « quoi » est sans doute la plus complexe et les articles que j'ai abordés utilisent tous ce que j'ai appelé le « vocabulaire » des actions/mouvements possibles pour décrire ce que font les équipes et les athlètes individuels. Certains le font de manière assez explicite, en utilisant des modèles de sujets développés à l'origine pour l'analyse de documents textuels, d'autres apprennent ou prédéfinissent des modèles qui se produisent dans certaines situations ou pour certaines équipes. Certains apprennent le vocabulaire à partir des données disponibles, d'autres le prédéfinissent et n'apprennent « que » les « phrases » qui se forment. En ce qui concerne le « qui », enfin, la modélisation basée sur le réseau s'avère très puissante et permet d'explorer des scénarios « et si » qui se produiraient si l'on mettait différentes formations sur le terrain.

Conclusion

Cette journée a permis de confronter différentes approches de la recherche autour de la thématique des données sportives, au sein des communautés EGC, AFIA, mais aussi au-delà, dans tous les champs de la communauté française travaillant sur l'intelligence artificielle et les données spatialisées. Au-delà des discussions autour des présentations des 7 intervenants, une session poster a permis à 3 jeunes chercheurs de présenter leurs travaux et d'échanger abondamment avec les participants. Nous remercions encore une fois ici l'AFIA, l'association EGC pour le soutien financier et matériel principal, nécessaire à l'organisation de cette journée.

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

PDIA'25 : « Perspectives et Défis de l'IA – désinformation, démocratie et IA »

Par

Srdjan VESIC
CRIL
Université d'Artois
vesic@cril.fr

Fatiha SAÏS
LISN
Université Paris Saclay
sais@lisn.fr

Cédric DU MOUZA
CNAM
cedric.du_mouza@cnam.fr

Nada MIMOUNI
CNAM
nada.mimouni@lecnam.net

Introduction

La onzième édition de la journée « Perspectives et Défis de l'IA » (PDIA), organisée par l'AFIA), s'est tenue le 10 juin 2025 au CNAM à Paris. Fidèle à son objectif d'explorer les grands enjeux actuels liés à l'intelligence artificielle, la journée PDIA'25 a porté sur un thème d'une actualité brûlante : « désinformation, démocratie et IA ».

Dans un contexte marqué par l'essor rapide des technologies génératives, l'accélération des flux d'information et la polarisation croissante des débats publics, cette journée a permis d'interroger les effets de l'intelligence artificielle sur la production et la diffusion de la désinformation, ainsi que ses impacts sur le fonctionnement démocratique de nos sociétés. La rencontre a été rythmée par six exposés invités, réunissant des chercheurs et chercheuses en informatique, mathématiques et droit, qui ont proposé des éclairages complémentaires sur les dimensions techniques, méthodologiques, juridiques et éthiques de cette problématique.

La journée a également donné la parole aux jeunes chercheurs, à travers deux interventions courtes de doctorants, qui ont présenté des travaux en lien avec les thématiques abordées, témoignant de la richesse et de la diversité des recherches en cours. Cette édition a été l'occasion de croiser les disciplines, de favoriser les échanges entre communautés scientifiques et de nourrir une réflexion collective sur les défis que pose la désinformation à l'ère de l'intelligence artificielle, tant pour la recherche que pour les politiques publiques et la société dans son ensemble.

Programme

09h00. Accueil et café
09h50. Introduction
10h00. « Knowledge is power : fighting disinformation with data and AI », par Ioana MANOLESCU (Inria, CEDAR)
10h50. « If generative AI becomes the mirror, we will end as narcisse », par David CHAVALARIAS (CNRS, CAMS et EHESS)
11h40. « AI models with systemic risks – manipulation and disinformation : a concept at the crossroads of the AI act, GDPR, and digital services act », par Juliette SÉNÉCHAL (Université de Lille)
12h30. Buffet déjeunatoire et échanges
14h00. « Influence campaign – the Romanian example », par Gabriel BEN ZENOU (Inria, CEDAR, AMIAD), présentation jeune chercheur
14h15. « On assessing the political biases of multilingual large language models », par Paul LERNER (Sorbonne Université), présentation jeune chercheur
14h30. « Argumentation perspectives for better debates », par Bruno YUN (Université

Claude Bernard Lyon 1, LIRIS)

15h20. Pause-café

15h45. « Computational social choice and democracy », par Jérôme LANG (CNRS, LAMSADE)

16h35. « Between surveillance and sous-veillance : what balance in a democracy ? », par Elia VERDON (Université de Bordeaux, CERCCLE)

17h25. Clôture de la journée

Détail des interventions

Knowledge is power : fighting disinformation with data and AI. Cette présentation donnée par Ioana MANOLESCU (Inria, Institut Polytechnique de Paris), traite de la lutte contre la désinformation en s'appuyant sur l'intelligence artificielle et l'exploitation de données statistiques ouvertes. L'idée centrale est que de nombreuses affirmations publiques, notamment dans le débat politique et médiatique, mobilisent des chiffres. Ces données peuvent être mal interprétées, manipulées ou présentées hors contexte, ce qui nourrit la mésinformation ou la désinformation. Pour y remédier, l'équipe CEDAR développe des outils qui permettent d'analyser automatiquement des déclarations et de les confronter à des sources fiables telles que l'INSEE, Eurostat, l'OCDE ou le FMI. Le projet StatCheck, lancé en 2016 et utilisé depuis 2022 en collaboration avec Le Vrai du Faux de France Info, vise à semi-automatiser le *fact-checking* statistique. Il s'appuie sur des outils de questions-réponses adaptées aux données statistiques. Cet outil a été conçu en partenariat avec des journalistes, qui choisissent eux-mêmes les sources de données et les corpus de déclarations à analyser, garantissant ainsi la pertinence et la confiance dans les résultats. En conclusion, Ioana MANOLESCU souligne que les données ouvertes constituent un levier majeur contre la désinformation, à condition de développer des méthodes robustes pour les rendre accessibles, interrogeables et fiables. Cette approche illustre l'importance d'un travail conjoint entre la recherche en IA et le journalisme de vérification pour renforcer la qualité du débat démocratique.

If generative AI becomes the mirror, we will end as narcisse. Cette conférence donnée par David CHAVALARIAS (CNRS, CAMS et EHESS) met en garde contre les effets des grands modèles de langue (*large language models*, LLM) sur la connaissance collective et la démocratie. Selon l'orateur, ces IA ne savent pas réellement distinguer le vrai du faux et peuvent adopter des comportements manipulateurs. Leur généralisation risque d'appauvrir les savoirs (fossilisation, prolifération de contenus artificiels médiocres), de fragiliser la formation des experts et de provoquer un déclin global des compétences. Dans une perspective sociétale, trois scénarios sont envisagés : concentration du pouvoir entre quelques acteurs (« homunculus »), délégation massive à l'IA au détriment des savoirs humains (« *AI first* »), ou développement d'une intelligence collective décentralisée où les humains restent dans la boucle (« cognition sociale »). Ce dernier scénario est présenté comme le plus souhaitable, à condition d'investir massivement dans l'éducation pour éviter que l'IA ne devienne un miroir trompeur menant au narcissisme collectif.

En conclusion, David CHAVALARIAS met en garde contre le danger d'un narcissisme collectif alimenté par l'IA, susceptible d'affaiblir la démocratie si les sociétés l'adoptent sans esprit critique. Il souligne que seule une vigilance constante et un effort soutenu d'éducation permettront de faire de l'IA un levier d'émancipation plutôt qu'un instrument de manipulation.

AI models with systemic risks of manipulation and disinformation. Cette intervention faite par Juliette SÉNÉCHAL (Univer-

sité de Lille) explore les enjeux juridiques liés aux modèles d'IA générative, en particulier leurs risques systémiques de manipulation et de désinformation. Juliette SÉNÉCHAL souligne que l'automatisation, la personnalisation et l'échelle massive des pratiques numériques, accentuées par l'essor des LLM depuis 2022, permettent des formes inédites d'influence pouvant fragiliser le libre arbitre des individus et la démocratie.

Le AI Act de 2024 introduit une taxonomie des modèles d'IA, distinguant les modèles à usage général et ceux présentant des risques systémiques (puissance computationnelle, impact sur les droits fondamentaux, sécurité, santé publique, etc.) Parmi ces risques, les experts identifient notamment la manipulation électorale, les campagnes de désinformation de grande ampleur et les discriminations massives liées aux décisions automatisées.

L'oratrice met en lumière la nécessité d'articuler les trois principaux textes européens, AI Act, GDPR et Digital Services Act, pour mieux encadrer ces risques. Or, leurs dispositions restent fragmentées : l'AI Act cible les modèles eux-mêmes, le DSA les plateformes de diffusion algorithmique, tandis que le RGPD ne couvre pas encore suffisamment le risque de manipulation lié à la collecte et au traitement massif de données personnelles.

Juliette SÉNÉCHAL propose d'aligner les règles relatives aux risques systémiques dans ces trois régimes ; d'amender les textes existants, via une directive de « *Digital Fairness for Consumers* », renforçant la protection contre les pratiques manipulatrices en ligne ; et d'assurer une mise en œuvre effective, en combinant régulation publique et recours privés.

En conclusion, la présentation plaide pour une approche neuro-éthique du droit, capable de répondre aux nouvelles formes de manipulation permises par l'IA. L'enjeu est de garantir une protection renforcée des consommateurs et des citoyens, face à des techniques d'influence massives qui brouillent les frontières entre sphère commerciale et sphère démocratique.

Influence campaigns : the Romanian example. Cette présentation donnée par le jeune chercheur Gabriel BEN ZENOU (INRIA, CEDAR, AMIAD) offre une analyse de l'utilisation de TikTok lors de l'élection présidentielle roumaine de 2024 pour mener des opérations d'influence. L'étude s'appuie sur des données collectées via l'API de recherche TikTok (août–décembre 2024) et un ensemble de *hashtags* liés aux candidats.

Les services roumains avaient signalé des anomalies autour d'un réseau de 25 000 comptes, activés massivement deux semaines avant le scrutin. Les analyses montrent en effet des pics de création de comptes (plus de 77 000 sur la période) et la diffusion répétée de commentaires identiques, signe d'un comportement inauthentique. L'objectif semble avoir été de manipuler l'algorithme de recommandation par un flot de commentaires plutôt que par des vidéos. Les résultats confirment la difficulté d'identifier et d'attribuer précisément de telles opérations, faute d'accès complet aux données. L'étude met en évidence la nécessité d'outils plus transparents (API renforcées, accès aux métadonnées) pour permettre aux chercheurs de documenter ces phénomènes.

En conclusion, ce cas illustre les risques graves que ces campagnes font peser sur l'intégrité démocratique : inégalité des chances entre candidats, atteinte à la liberté de choix des électeurs et opacité du financement. L'exemple roumain souligne ainsi l'urgence de mieux encadrer les plateformes et de doter les chercheurs et institutions des moyens de contrôle adaptés.

Assessing the political biases of multilingual large language models. Cet exposé donné

par le jeune chercheur Paul LERNER (Sorbonne Université) interroge la manière dont les grands modèles de langage multilingues (LLM) véhiculent des biais politiques et les risques que cela représente pour le débat démocratique. Les LLM sont déjà utilisés pour encourager la participation citoyenne (plateformes comme make.org), pour compléter des sondages (fair-gen.ai), mais ils génèrent aussi des textes racistes, sexistes ou politiquement biaisés. D'où une question centrale : *comment évaluer leurs orientations idéologiques ?*

Les méthodes classiques, consistant à administrer aux LLM des questionnaires politiques (type politicalcompass.org), se révèlent fragiles : les résultats varient selon des détails techniques (format des options, prompts, encodage des réponses), et les scores gauche-droite par question sont arbitraires. Pour dépasser ces limites, les travaux de Paul LERNER visent à concevoir des représentations politiques explicites en entraînant des plongements adaptés. Leur approche repose sur un apprentissage multi-tâches intégrant trois grandes sources. Ces plongements permettent de représenter les positions idéologiques exprimées dans des textes, au-delà de la simple similarité sémantique. L'objectif est ensuite d'évaluer les biais que les LLM introduisent dans diverses tâches, notamment la traduction automatique, l'aide à la rédaction et la synthèse de documents. Un cadre mathématique est proposé pour mesurer les distorsions idéologiques, par exemple entre un document source et son résumé produit par un modèle.

En conclusion, Paul LERNER souligne que l'évaluation des biais politiques des LLM est un sujet urgent mais encore peu stabilisé. Les approches actuelles (questionnaires) sont insuffisantes ; la proposition de plongement politique multilingue vise à offrir une base plus robuste et généralisable pour analyser l'impact idéologique des modèles sur les usages démocratiques.

Argumentation perspectives for better online debates. Cette conférence donnée par Bruno YUN (Université Claude Bernard Lyon 1) traite de la manière dont l'argumentation computationnelle et les modèles de langage peuvent améliorer la qualité des débats en ligne. Bien que des plateformes dédiées existent (Kialo, Idebate, Argüman), leur adoption reste limitée à cause de plusieurs obstacles : arguments peu structurés, abondance de contenus de faible qualité, absence d'outils d'aide à la vérification ou à la hiérarchisation, et forte charge cognitive pour les utilisateurs. Pour répondre à ces limites, Bruno YUN explore deux axes principaux : D'une part, la fouille d'arguments combinée à l'intelligence artificielle générative. Cela consiste à extraire automatiquement des structures argumentatives (prémisses, conclusions, relations d'attaque ou de soutien) à partir de textes en langage naturel. Les LLM ouvrent de nouvelles perspectives, notamment pour des tâches complexes comme l'identification des relations entre arguments (*relation-based argument mining*). Des travaux récents montrent que des modèles légers, adaptés et finement ajustés, peuvent obtenir de bonnes performances dans ce domaine. Des outils tels qu'ADBL2 (*Assisted Debate Builder*) illustrent le potentiel de ces approches pour faciliter les débats structurés. D'autre part la modélisation de préférences et problèmes inverses en argumentation. L'idée est de partir des préférences ou degrés d'acceptabilité exprimés par les utilisateurs et d'inférer les poids initiaux des arguments. Des méthodes computationnelles et analytiques ont été développées pour résoudre ces problèmes et aider à corriger des jugements incohérents.

L'exposé se termine par l'ouverture de plusieurs pistes de recherche : étendre les modèles de langage à d'autres tâches d'argumentation et mener des études empiriques pour mieux comprendre les processus d'élicitation des pré-

férences.

En résumé, la présentation montre comment combiner LLM légers et raisonnement argumentatif afin de rendre les débats en ligne plus structurés, plus accessibles et plus utiles pour la prise de décision collective.

Computational social choice and democracy. Cet exposé donné par Jérôme LANG (CNRS, LAMSADE) montre les apports de la théorie du choix social computationnel à la démocratie. La théorie du choix social, initiée au XVIII^{ème} siècle avec Condorcet et Borda puis formalisée au XX^{ème} siècle avec Arrow, a pris un tournant computationnel à partir des années 1990 avec l'apport de l'informatique et de l'intelligence artificielle. Elle vise à concevoir et analyser des méthodes pour agréger les préférences ou les jugements des citoyens et prendre collectivement des décisions. Jérôme LANG a proposé six formes différentes de démocratie : représentative, directe, participative et délibérative. Il en détaillé trois parmi les six suite à un vote fait en amont par les participants. L'orateur a illustré comment l'IA peut contribuer à renouveler ces pratiques :

- **Démocratie liquide** : combinaison de démocratie directe et représentative où les citoyens peuvent déléguer leur vote à des pairs. L'analyse montre les limites possibles (cycles, délégations improductives, perte de diversité).
- **Vote épistémique** : lorsque les votes portent sur une vérité cachée (p. ex. « quelle ville est la plus au nord ? »), l'agrégation des opinions peut révéler la bonne réponse. Des mécanismes comme le vote par approbation ou le sérum de vérité bayésien permettent d'améliorer la qualité des décisions issues de la foule.
- **Délibération par mini-publics** : les assemblées citoyennes nécessitent des procédures de sélection représentatives et équitables. Jérôme LANG décrit des méthodes computationnelles comme les loteries optimales pour corriger les biais de participation.
- **Vote itératif** : faire voter plusieurs fois avec mise à jour des préférences peut améliorer les résultats et limiter certains paradoxes du vote.
- **Budget participatif** : plutôt que d'utiliser des méthodes « gloutonnes » qui favorisent la majorité, des approches plus équitables (vote par approbation proportionnel, règles de partage égal) assurent une meilleure représentativité et proportionnalité.
- **Choix social et AI morale** : enfin, l'exposé relie ces méthodes aux dilemmes moraux de l'IA (allocation de ressources médicales, voitures autonomes), en discutant des principes (utilitarisme, égalitarisme *ex ante* ou *ex post*, mérite).

En conclusion, Jérôme LANG souligne que le choix social computationnel fournit des outils puissants pour concevoir des institutions plus représentatives, équitables et adaptées aux défis contemporains. Ces approches peuvent renforcer la démocratie à condition d'intégrer à la fois l'analyse mathématique, les apports de l'IA et les considérations éthiques.

Surveillance, sousveillance, and democratic balance. Cette présentation donnée par Elia VERDON (Université de Bordeaux, CERCCLE) concerne des travaux issus de sa thèse de doctorat en cours sur la surveillance étatique des populations, interroge l'équilibre nécessaire entre surveillance et sousveillance dans les démocraties libérales.

La surveillance est redéfinie au-delà de son sens courant : il s'agit d'un acte conscient d'observation depuis une position dominante (le préfixe sur renvoyant à une supériorité). Avec la révolution numérique, elle ne se limite plus à l'observation physique mais inclut la collecte massive de données, l'algorithmique et

l'IA (reconnaissance faciale, biométrie), rendant le contrôle constant, invisible et ubiquitaire. Les *surveillance studies* ont mis en lumière des concepts comme la dataveillance ou le capitalisme de surveillance (conceptualisé par Shoshana ZUBOFF). Cette dynamique produit une forte asymétrie de visibilité : le pouvoir voit sans être vu, ce qui engendre un déséquilibre démocratique.

En contrepoint, la sousveillance, théorisée par Steve MANN, désigne un « regard d'en bas » : rendre visibles les surveillants grâce aux technologies. Elle constitue un outil de résistance, d'imputabilité et de participation citoyenne. Dans ce cadre, Elia VERDON met en avant le concept d'équiveillance, entendu comme un équilibre entre surveillance et sousveillance, garantissant transparence mutuelle, inclusion et justice.

En conclusion, il est essentiel de redéfinir la surveillance à l'ère numérique et de renforcer la sousveillance comme contre-pouvoir. L'équiveillance apparaît ainsi comme une condition indispensable pour préserver l'État de droit et la légitimité démocratique.

Conclusion

Cette journée a mis en évidence, grâce à des approches issues de l'informatique, de l'IA, du droit et des sciences sociales, les enjeux cruciaux de l'information et de la démocratie à l'ère numérique. Les interventions ont souligné les menaces de la désinformation, montré la complexité des manipulations en ligne, interrogé les biais politiques des modèles de langue, exploré le rôle de l'argumentation computationnelle et du choix social pour de meilleures pratiques démocratiques, et rappelé l'importance d'un équilibre entre surveillance et sousveillance. L'ensemble converge vers un constat partagé : les technologies numériques et l'IA comportent des risques systémiques, mais offrent aussi des leviers puissants pour renforcer transparence, participation et délibération, à condition de développer des outils fiables, des régulations adaptées et une éducation critique solide.

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

Thèses et HDR du trimestre

Si vous êtes au courant de la programmation de soutenances de thèses ou HDR en Intelligence Artificielle cette année, vous pouvez nous les signaler en écrivant à redaction@afia.asso.fr.

Thèses de Doctorat

Guanghi HU
« Deep learning-based segmentation of Parkinson's disease-related brain regions and lymphomas in neuroimaging »
Supervision : *Olivier COLLIOT*
Didier DORMONT
Le 30/06/2025, Sorbonne Université

Stevan STANOVIC
« Décimation hiérarchique pour l'apprentissage sur graphes »
Supervision : *Luc BRUN*
Le 27/06/2025, Université de Caen Normandie

Emma SARFATI
« Exploiting heterogeneous labels in deep learning for medical image analysis: application to the automated diagnosis of liver diseases »
Supervision : *Isabelle BLOCH*
Pietro GORI
Le 19/06/2025, Institut polytechnique de Paris

LoÏc OMNES
« Deep learning methods for long RNA secondary structure prediction »
Supervision : *Fariza TAHI*
Éric ANGEL
Pierre BARTET-FRIBURG
Le 18/06/2025, Université Paris-Saclay

Carl DE SOUSA TRIAS
« Robust watermarking for neural networks in multimedia tasks »
Supervision : *Mihai MITREA*
Marco CAGNAZZO
Attilio FIANDROTTI
Le 11/06/2025, Institut polytechnique de Paris

Lisa POIRIER-HERBECK
« Suivi dynamique par apprentissage et intelligence artificielle des signaux dédiés à la surveillance de l'environnement »
Supervision : *Sylvie MARCOS*
Nicolas SAUREL
Elisabeth LAHALLE
Le 02/06/2025, Université Paris-Saclay

Arthur MICHON
« Méthodes d'apprentissage pour l'amélioration des récepteurs MIMO/NOMA basés sur des algorithmes bayésiens itératifs »
Supervision : *Charly POULLIAT*
Le 02/06/2025, Université de Toulouse

Mathieu LAÏ-KING
« Qualité des articles de recherche et modèles de langue neuronaux : applications au domaine biomédical »
Supervision : *Patrick PAROUBEK*
Thierry HAMON
Le 24/04/2025, Université Paris-Saclay

Nezih YOUNSI
« Dyadic adaptation of facial expressions using diffusion models »
Supervision : *Catherine PELACHAUD*
Laurence CHABY
Le 23/04/2025, Sorbonne Université

Abdelhak HIDOURI
« Approche intelligente pour améliorer la sécurité de l'architecture *Named Data Networking* »
Supervision : *Samia BOUZEFRANE*
Haifa TOUATI
Le 15/04/2025, CNAM

Mohamed AKREMI
« Manifold-based approaches for action and gesture recognition »
Supervision : *Hedi TABIA*
Najett NEJI
Le 11/04/2025, Université Paris-Saclay

Agathe ARCHET
« Mise en œuvre de méthodes de génération automatisées et efficaces de réseaux de neurones pour des cibles matérielles embarquées hétérogènes »
Supervision : *Nicolas GAC*
François ORIEUX
Nicolas VENTROUX
Le 11/04/2025, Université Paris-Saclay

Rémy HOSSEINKHAN-BOUCHER
« On learning-based control of dynamical systems »
Supervision : *Anne VILNAT*
Lionel MATHELIN
Onofrio SEMERARO
Le 10/04/2025, Université Paris-Saclay

Bikram Pratim BHUYAN
« Neuro-symbolic knowledge hypergraphs: knowledge representation and learning in neuro-symbolic artificial intelligence »
Supervision : *Amar RAMDANE-CHERIF*
Ravi TOMAR
Thipendra P. SINGH
Le 07/04/2025, Université Paris-Saclay

Junjie YANG
« Enhancing surrogate regression methods for structured prediction: an odyssey with loss functions »
Supervision : *Florence D'ALCHÉ-BUC*
Le 07/04/2025, Institut polytechnique de Paris

Morgane JOLY
« Contribution to the study of the improvement of the radio coexistence of a wireless sensor network through the implementation of embedded algorithms based on artificial intelligence »
Supervision : *Éric RENAULT*
Le 07/04/2025, Université Gustave Eiffel

Valentin MERCIER
« Utilisation de techniques de *machine learning* pour la prédiction de crue »
Supervision : *Serge GRATTON*
Le 04/04/2025, Université de Toulouse

Maxime BOUTHORS
« Vers la traduction neuronale augmentée par des exemples »
Supervision : *François YVON*
Josep CREGO
Le 04/04/2025, Sorbonne Université

Nicolas ATIENZA

« Towards reliable ML: leveraging multimodal representations, information bottleneck and extreme value theory »
Supervision : *Johanne COHEN*
Christophe LABREUCHE
Le 04/04/2025, Université Paris-Saclay

Michail CHATZIANASTASIS

« Advancements in graph representation learning and applications in computational biology »
Supervision : *Michalis VAZIRGIANNIS*
Le 03/04/2025, Institut polytechnique de Paris

Antoine SIEBERT

« Contribution à l'implémentation d'algorithmes d'intelligence artificielle pour applications de radiocommunications dans un contexte embarqué durci »
Supervision : *Guillaume FERRÉ*
Bertrand LE GAL
Le 03/04/2025, Université de Bordeaux

Habilitations à Diriger les Recherches

Nous n'avons malheureusement pas eu connaissance ce trimestre d'HDR dans le domaine de l'IA.

N'hésitez pas à nous envoyer les informations concernant celles dont vous avez entendu parler. (redaction@afia.asso.fr).

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

À PROPOS DE
L'AFIA

L'objet de l'AFIA, Association Loi 1901 sans but lucratif, est de promouvoir et de favoriser le développement de l'Intelligence Artificielle (IA) sous ses différentes formes, de regrouper et de faire croître la communauté française en IA et, à la hauteur des forces de ses membres, d'en assurer la visibilité.

L'AFIA anime la communauté par l'organisation de grands rendez-vous. Se tient ainsi chaque été une semaine de l'IA, la Plate-forme IA (PFIA 2023 à Strasbourg, PFIA 2024 à La Rochelle, PFIA 2025 à Dijon) au sein de laquelle se tiennent la Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle (CNIA), les Rencontres des Jeunes Chercheurs en IA (RJCIA) et la Conférence sur les Applications Pratiques de l'IA (APIA) ainsi que des conférences/journées thématiques hébergées qui évoluent d'une année à l'autre, sans récurrence obligée.

Ainsi, PFIA 2025 hébergera du 30 juin au 4 juillet 2025 à Dijon, outre la 28e CNIA, les 23es RJCIA et la 11e APIA : les 6 conférences CAp, IC, JFPC, JFSMA, JIAF et SFC, 4 journées thématiques (Défense & IA, Humanité & IA, Société & IA, IA en BFC), 6 ateliers thématiques (ACAI, GDR RADIA, IN-OVIVE, Jeux & IA, MAFTEC, Santé & IA), et plusieurs tutoriels hébergés.

Forte du soutien de ses 511 adhérents à jour de leur cotisation en décembre 2024, l'AFIA assure :

- le maintien d'un site Web dédié à l'IA reproduisant également les Brèves de l'IA ;
- une *journée industrielle* « Forum Industriel en IA » (FIIA 2025) ;
- une *journée recherche* « Perspectives et Défis en IA » (PDIA 2024) ;
- une *journée enseignement* « Enseignement et Formation en IA » (EFIA 2023) ;
- une « École Saisonnière en IA » (ESIA2025, précédente édition en 2023) ;
- la remise annuelle d'un prix de thèse en IA ;
- le soutien à 7 collèges ayant leur propre activité :
  - collège Création d'Événements Collaboratifs, Inclusifs et Ludiques en IA (octobre 2021),
  - collège Humanités, Société et Intelligence Artificielle (janvier 2025),
  - collège Industriel (janvier 2016),
  - collège Représentation et Raisonnement (avril 2017),
  - collège Science de l'Ingénierie des Connaissances (avril 2016),
  - collège Systèmes Multi-Agents et Agents Autonomes (janvier 2017),
  - collège Technologies du Langage Humain (juillet 2019) ;
- la parution trimestrielle des Bulletins de l'AFIA ;
- un lien entre ses membres et sympathisants sur les réseaux sociaux LinkedIn, Facebook et Twitter ;
- le parrainage scientifique, mais aussi éventuellement financier, d'événements en IA ;
- la diffusion mensuelle de Brèves sur les actualités de l'IA en France (abonnement ou envoi à la liste) ;
- la réponse aux consultations officielles ou officieuses (Ministères, Missions, Organismes) ;
- la réponse aux questions de la presse, écrite ou orale, également sur internet ;
- la divulgation d'offres de collaborations, de formations, d'emploi, de thèses et de stages.

L'AFIA organise aussi des journées communes avec d'autres associations. Pour 2025 : Société & IA avec AFIHM; MAFTEC 12 avec GDR RADIA.

Enfin, l'AFIA encourage la participation de ses membres aux grands événements de l'IA, dont PFIA. Ainsi, les membres de l'AFIA, pour leur inscription à PfIA, bénéficient d'une réduction équivalente à deux fois le coût de leur adhésion, leur permettant d'assister à PFIA 2025 sur 5 jours au tarif de 138 € TTC !

Rejoignez-nous vous aussi et adhérez à l'AFIA pour contribuer au développement de l'IA en France. L'adhésion peut être individuelle ou au titre de personne morale. Merci également de susciter de telles adhésions en diffusant ce document autour de vous !

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Benoit LE BLANC, président
Thomas GUYET, vice-président
Isabelle SESÉ, trésorière
Grégory BONNET, secrétaire
Pierre MONNIN, porte-parole
Dominique LONGIN, rédacteur
Jean-Guy MAILLY, webmestre

Autres membres :
Azzedine BENABBOU (invité), Zied BOURAOUI, Gayo DIALLO, Domitile LOURDEAUX, Davy MONTICOLO, Jose MORENO Gauthier PICARD, Valérie REINER, Céline ROUVEIROL, Fatiha SAÏS, Ahmed SAMET, Thierry VIDAL.

COMITÉ DE RÉDACTION

redaction@afia.asso.fr

Grégory BONNET
Rédacteur en chef adjoint
resp-gt-redaction@afia.asso.fr

Caio CORRO
Rédacteur

Gaël LEJEUNE
Rédacteur

Dominique LONGIN
Rédacteur en chef
resp-gt-redaction@afia.asso.fr

LABORATOIRES ET SOCIÉTÉS ADHÉRANT COMME PERSONNES MORALES

Airbus, Ardans SA, Berger-Levrault, CEA, IBM France, CRIL, Crédit Agricole Leasing & Factoring, Dassault Aviation, Centralesupelec, EMSE, ENIB, ENSC, Eurodecision, GREYC, HEUDIASYC, ICUBE, IMT Mines Alès, Inrae, Inria, INSERM, IRISA, IRIT, ISAE Supaero, L3I, LAAS-CNRS, LABRI, LAMIH, LAMSADE, LGP, LICIIS, LIMOS, LIP6, LIPADE, LIPSTIP, LIRIS, LIRMM, LIS, LISN, LITIS, Logilab, LORIA, LRE, Magellan, MISTEA, NetPilote, Newcleo SA, ONERA, Société Générale, TETIS, Thales Research and Technology, Université Gustave Eiffel.

Pour contacter l'AFIA

Président
Benoit LE BLANC
ENSC, Bordeaux-INP
109 avenue Roul, 33400 Talence
Tél. : +33 (0) 5 57 00 67 00
president@afia.asso.fr

Serveur WEB
http://www.afia.asso.fr

Adhésions, liens avec les adhérents
Isabelle SESÉ
tresorier@afia.asso.fr

Calendrier de parution du Bulletin de l'AFIA

	Hiver	Printemps	Été	Automne
Réception des contributions	15/12	15/03	15/06	15/09
Sortie	31/01	30/04	31/07	31/10

AfIA
Association française
pour l'Intelligence Artificielle