Haut Conseil de l'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur

DOCUMENT D'AUTOÉVALUATION

Équipe SMA

Campagne d'évaluation 2023-2024 — Vague D

Table des matières

1 INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉQUIPE SMA **3**
1.1 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux . . . 3
Positionnement scientifique par rapport au contexte international. . . . 3
Avancées scientifiques majeures dans la période. . . . 3
Animation scientifique de l'équipe . . . 4
Evolution des effectifs . . . 4

2 INTRODUCTION DU PORTFOLIO **6**

3 AUTOÉVALUATION DU BILAN **7**
3.1 Autoévaluation de l'équipe . . . 7
Domaine 2. Attractivité . . . 7
Domaine 3. Production scientifique . . . 9
Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société . . . 10

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES EXTERNES **12**

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES SIGNIFICATIVES DE SMA **13**

A ANNEXE — MEMBRES PERMANENTS AU 31/12/2022 **14**

1 INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉQUIPE SMA

Nom de l'équipe : Systèmes Multi-Agents (SMA)

Responsable de l'équipe Nicolas Maudet (depuis le 21/10/2021), précédemment Amal El Fallah Seghrouchni

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PR	3	2	2	2	2	2
MCF HDR	2	2	2	2	2	2
MCF	4	4	3	3	3	3
DR	1	1	1	1	1	1
CR HDR	0	0	0	0	0	0
CR	0	0	0	0	0	0
Total permanents	10	9	8	8	8	8
Émérites	0	0	0	0	0	0
Doctorants	6	5	8	7	10	10
Ingénieurs CDD ou hors tutelles	0	0	0	0	1	0
Post-doc, ATER, etc.	2	2	0	1	1	1
Stagiaires	14	5	6	1	5	7
Total non permanents	22	12	14	9	17	18
Total avec émérites	**32**	**21**	**22**	**17**	**25**	**26**
Equivalent temps plein recherche	5.5	5.0	4.5	4.5	4.5	4.5

TABLE 1 – Personnels SMA sur la période 2017-2022 (au 1er juillet de chaque année)

1.1 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

Positionnement scientifique par rapport au contexte international.

La communauté *autonomous agents and multi-agents systems* est fortement structurée à l'international, en particulier autour du journal JAAMAS et de la conférence AAMAS (le tout sous l'égide de l'association IFAAMAS), et cette thématique est très répresentée dans toutes les plus grands journaux et conférences en IA. En termes de thématiques représentées, il est intéressant de lister les 10 *tracks* qui composent la conférence AAMAS : (i) Coordination, Organisations, Institutions, and Norms, (ii) Markets, Auctions, and Non-Cooperative Game Theory (iii) Social Choice and Cooperative Game Theory (iv) Knowledge Representation, Reasoning, and Planning (v) Learning and Adaptation (vi) Modelling and Simulation of Societies (vii) Humans and AI / Human-Agent Interaction $(viii)$ Engineering Multiagent Systems (ix) Robotics (x) Innovative Applications.

Les travaux de l'équipe SMA se structurent autour de 4 thématiques :

1. *coordination multi-agents* – -qui étudie les algorithmes et protocoles permettant à plusieurs agents de se coordonner (planification distribuée, formation de coalitions, négociation et délibération, choix social computationnel, apprentissage multi-agents) ;
2. *simulation multi-agents* — dédiée à la modélisation et la simulation de systèmes complexes humains, en particulier dans l'objectif de concevoir et d'évaluer des politiques publiques (calibration de modèles, passage à l'échelle, simulations participatives) ;
3. *architectures et langages d'agents* — qui étudie les modèles, structures, et questions d'ingénierie liées au déploiement de systèmes multi-agents (développement de langages de programmation d'agents et de plateformes multi-agents) ;
4. *créativité et génération de contenu* —q ui se focalise en particulier sur la génération de contenu musical, en s'appuyant sur des techniques d'apprentissage ou des modèles multi-agents.

La correspondance (pas exhaustive bien sûr) avec les domaines identifiés à l'international est facile à réaliser : [1 $\leftrightarrow (i, ii, iii, iv, v, ix)$, 2 $\leftrightarrow (xi)$, 3 $\leftrightarrow (viii, ix)$, 4 $\leftrightarrow (x)$].

Avancées scientifiques majeures dans la période.

Plusieurs tendances se dégagent ces dernières années dans le domaine des systèmes multi-agents. Tout d'abord, la thématique de l'apprentissage, et en particulier ici de l'apprentissage multi-agents a continué à prendre de l'importance. Alors que l'essentiel des approches se concentraient à l'intersection de l'apprentissage par renforcement et de la théorie des jeux, on observe une diversification des approches ces dernières années, avec des cadres d'études et d'applications de plus en plus réalistes.

Les progrès dans les domaines des jeux ont par exemple vu en 2019 les premières victoires dans le cadre du Poker à 6 joueurs, ce qui combine la difficulté d'un jeu à information imparfaite et d'un jeu impliquant plus de deux joueurs (logiciel Libratus, prix IFAAMAS de la meilleure thèse à Noam Brown [1] en 2021, prix Marvin Minsky Medal for Outstanding Achievements in AI [1]). Il est à noter que les approches utilisées n'offrent pas forcément de garanties théoriques au-delà du cadre des jeux à deux joueurs, mais se révèlent en pratique très performantes.

Mais au-delà des cadres purement compétitifs, la nécessité de mieux appréhender les contextes comportant au moins une part de coopération, que ce soit entre agents logiciels, entre robots, ou avec l'humain, se fait ressentir. Des approches de planification multi-agents coopératives de plus en plus efficaces ont été développées, permettant de considérer des problèmes de grande taille et d'envisager leur utilisation dans des contextes applicatifs réalistes (approche DESPOT [7] pour la résolution de POMDP de grandes tailles, IJCAI-JAIR Best Paper Award 2022 ou [2] pour la résolution de MDP Multi-Agents, Best Paper AAMAS 2021). Le champ de recherche de l'IA coopérative [3] a été avancé comme un défi majeur de ces prochaines années (prix IFAAMAS de la meilleure thèse 2019 à Fernando P. Santos [6] qui a travaillé sur les modèles de réputation et de coopération, et prix IFAAMAS de la meilleure thèse 2018 à Ariel Rosenfeld [5] sur les interactions humains - agents et l'apport des sciences sociales en IA). On peut citer deux champs de recherche qui vont dans cette direction et qui ont donné lieu à de nombreuses avancées.

Tout d'abord, l'algorithmique de la prise de décision multi-agents équitable a vu des progrès notables, en particulier en lien avec les approches émanant du choix social computationnel (ACM SIGAI Awards de Vincent Conitzer en 2021 et de Craig Boutilier en 2018, prix IFAAMAS de la meilleure thèse à Dominik Peters en 2020 [4], invited talks de Jérôme Lang à IJCAI en 2021).

Ensuite, les questions d'éthique et d'alignement des valeurs avec les humains ont pris une grande importance dans la communauté : celles-ci visent à garantir par exemple que les méthodes d'apprentissage ne convergent pas vers des politiques efficaces mais inacceptables socialement (Invited talk de Francesca Rossi à AAMAS 2019). Enfin, une coopération effective avec l'humain appelle l'explicabilité des recommandations, une capacité à s'adapter au modèle mental de l'humain (on peut citer ici l'exemple de la planification explicable, AAMAS 2019 Invited talks de Subbarao Kambhampati et de Tim Miller à ICAPS 2022 et IJCAI 2022), et une possibilité de remise en cause (contestabilité) qui demande des protocoles d'interaction élaborés entre l'humain et la machine (ACM SIGAI Award en 2020 à Munindar Singh pour ses travaux sur les protocoles d'interaction).

Animation scientifique de l'équipe

L'animation scientifique de l'équipe s'articule autour de réunions et de séminaires réguliers, qui couvrent tous les thématiques, ainsi que de participations à des projets communs. On peut noter que quasiment tous les membres de l'équipe ont publié au moins un article avec une ou un autre membre de l'équipe.

Au niveau du laboratoire, l'équipe s'inscrit pleinement dans l'axe IA et Sciences des Données, avec des interactions avec l'axe ASN ; et entretient des liens privilégiés avec de nombreuses équipes, en particulier Décision (publications communes, nombreux projets communs, co-encadrements de thèses, autour des thématiques de la décision multi-agents dans l'incertain, du choix social computationnel, des modèles de gestion participative de ressources), LFI (projets communs, co-encadrements de stages de Master, en particulier autour des notions d'explicabilité et de l'argumentation), ACASA (projets communs, co-encadrements de stages de Master, autour des problématiques de représentation des connaissances et de l'éthique), et ponctuellement avec de nombreuses autres équipes (Move, NPA, MOCAH, ComplexNetworks, RO, Delys).

Par les thématiques développées dans l'équipe, les interactions sont fortes avec le domaine de l'économie (Paris 1, Paris 2, Université Paris-Dauphine et Université de Caen, publications et projets communs, sur les thématiques de la simulation multi-agents et du choix social computationnel).

L'équipe entretient des relations privilégiées avec plusieurs partenaires industriels.

Evolution des effectifs

En terme d'évolution du périmètre de l'équipe (voir Table 1), les éléments marquants sont le départ d'un PR qui a pris la direction du JFLI en 2017, le passage en membre associée d'une collègue du CReSTIC (Université de Reims), et la délégation à temps partiel de l'ancienne responsable de l'équipe partie fonder le centre AI Movement au Maroc en 2021. À cela s'ajoute le prochain départ à la retraite d'un directeur de recherche en 2023.

1. https://www.ijcai.org/awards/minsky_medal

Même si entre temps une collègue a passé son HDR, les capacités d'encadrement s'en trouvent fortement affectées.

2 INTRODUCTION DU PORTFOLIO

Le portfolio de l'équipe est constitué de quatre éléments, choisis pour leur représentativité des différentes thématiques de l'équipe

- *Elément 1 (article scientifique)* : un article sur le partage équitable de ressources indivisibles par dynamiques d'échanges multi-agents [Beynier et al., 2021], représentatif des travaux de la thématique *coordination multi-agents*.
- *Elément 2 (article scientifique)* : un article sur le modèle de simulation multi-agents WORKSIM sur le marché du travail [Kant et al., 2020], représentatif des recherches sur la thématique *simulation multi-agents*.
- *Elément 3 (logiciel)* : un lien vers les sites des plateformes multi-agents développées ou maintenues au sein de l'équipe, représentatif des travaux de l'équipe dans la thématique *architecture et langage d'agents*.
- *Elément 4 (ouvrage)* : un lien vers l'ouvrage *Deep Learning Techniques for Music Generation* [Briot et al., 2019], représentatif de la thématique *créativité et génération de contenu*.

3 AUTOÉVALUATION DU BILAN

3.1 Autoévaluation de l'équipe

Domaine 2. Attractivité

Référence 1. L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche.

Invitations dans des institutions académiques ou des congrès internationaux. Des liens importants ont été tissés avec plusieurs institutions, traduits par des invitations de membres de l'équipe, et à plus long terme des statuts associés (Research Affiliate, Honorary Visiting Professor), en particulier au Center for Human-Compatible AI (UC Berkeley, 2019), à l'Université Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Brésil, ou encore à l'Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Brésil.

Par ailleurs, nous sommes régulièrement sollicités pour des exposés invités lors de conférences ou workshops (Keynote Speakers : European Conference on Multiagent Systems, 2017, International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation 2019, Workshop on Advances in Argumentation in Artificial Intelligence, 2022), ainsi que pour des tutoriels invités.

Conférences où des membres de l'équipe sont membres du PC. Les membres de l'équipe sont fortement impliqués, chaque année, dans les comités de programme (en tant que SPC et PC) des meilleures conférences généralistes en IA (IJCAI, AAAI, ECAI, UAI, KR) et systèmes multi-agents (AAMAS). Certains membres de l'équipe sont également particulièrment investis sur les conférences spécifiques à leur thématique de recherche : AI Music Creativity, ACM Multimedia, ACM Multimedia Systems, IMmersive Mixed and Virtual Environment Systems, ACM Game Systems, Network and Systems Support for Games.

Notre implication est aussi importante au niveau national, en particulier au sein des conférences et journées JFSMA, JFPDA, JIAF, qui se tiennent dans le cadre de la plateforme IA.

Organisation de conférences. Organisation de plusieurs workshops d'une trentaine de participants : AI for (Music and Games) Co-Creation (WAIC 2021), Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Brésil, 2021 ; 11th Joint SMA/LIP6-NII WorkShop on Multi-Agent and Distributed Systems, LIP6, 2018 ; Organisation de Special Session on Multimedia and Infrastructure Innovations in Blockchain-Driven Metaverse - IEEE Multimedia and Expo Conference (IEEE ICME 2022)

Organisation des congrès internationaux majeurs et participation aux comités scientifiques de ces manifestations. General Chair AAMAS-2020, Co-Chair Doctoral Consortium AAMAS-2020, Area Chair AAMAS-2023, Co-Chair Survey Track IJCAI-2018, Area Chair IJCAI-2020 et IJCAI-2021, Area Chair ACM Multimedia 2017 (Systems and Application track, Multimedia Systems and Middleware area), Publicity Chair ACM MMSys 2017, 2018 et 2019.

Participation à des comités de pilotages. L'équipe participe aux comités de pilotages du Workshop on Network and Systems Support for Games (NetGames)

Responsabilités éditoriales dans des revues et des collections de haut niveau. L'équipe est représentée au sein des comités éditoriaux de :

- Journal of Artificial Intelligence Research,
- Journal of Autonomous Agents and Multiagent Systems,
- ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications
- Revue Ouverte d'Intelligence Artificielle

Par ailleurs, certains membres de l'équipe ont été sollicités pour (co-)coordonner des numéros spéciaux de revues :

- Special Issue on Fair Division (of the Journal of Autonomous Agents and Multiagent Systems), 2022
- Special Issue on Supporting Decision Processes by means of Argumentation (of the European Journal of Decision Processes), 2018
- Special Issue on Delay-Sensitive Video Computing in the Cloud (ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications), Volume 14, Issue 3, 2018
- Numéro spécial "Histoire et structure de la coopération scientifique entre le Brésil et la France", Revue Histoire de la recherche contemporaine, CNRS Éditions, Volume VII, Numéro 2, pages 127–137, 2018

Participation à des instances de pilotage de la recherche et d'expertise scientifique.

Au niveau international, nous sommes impliqués au sein d'IFAAMAS (au sein du Board of Directors), au sein de l'ACM Special Interest Group on Multimedia (SIGMM), ou encore au sein du Scientific Advisory Board du laboratoire Simula Research Laboratory, Oslo, Norvège.

Les membres de l'équipe sont très impliqués dans l'animation du GDR IA (ateliers MAFTEC, IA et Jeux, explicabilité, participation au comité de direction, organisation et participation à des écoles thématiques), et en particulier via le co-portage du projet de renouvellement du GDR (renommé RADIA, Raisonnement, Apprentissage et Décision en IA).

Les membres de l'équipe ont été sollicités à l'occasion de plusieurs écoles thématiques du GDR, pour en assurer la responsabilité scientifique (IA2-2021) ou y donner des cours (IA2-2022).

Enfin, on peut souligner que les membres participent largement à différentes instances d'évaluation (comité d'évaluation HCERES pour le LIRMM, membres de jurys de nombreux concours, évaluations de projets en France et à l'international).

Prix, distinctions.

- Prix du meilleur article étudiant à la conférence EvoStar European Conference on Genetic Programming, pour l'article [Fontbonne et al., 2022]
- Best woman in science paper à la conférence 18th Brazilian Symposium on Computer Music (SBCM 2021) [Soares de Oliveira de Souza et al., 2021].

Référence 2. L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.

L'équipe accueille un grand nombre de **doctorants et doctorantes**. Durant la période, 10 doctorants ont soutenu leur thèse, tandis que 10 thèses sont actuellement en cours au sein de l'équipe. Une spécificité de l'équipe est le nombre assez important de thèses CIFRE. Afin de préserver un moment permettant les échanges au sein de l'équipe, une journée spécifique de présence est recommandée pour tous les doctorants CIFRE. La politique générale de l'équipe est d'intégrer les doctorants autant que possible aux décisions de l'équipe. Les pratiques de publications témoignent de leur forte implication : ils sont en général positionnés en premier auteur, et nous avons pu dénombrer que sur l'ensemble des publications de la période, 3/4 impliquent une ou un doctorant. Les doctorants sont également incités à participer aux différentes journées et écoles d'été de leur domaine scientifique, aussi bien qu'aux journées dédiées à la poursuite de carrière (par ex. Journée SPECIF-SIF sur le doctorat).

Notons également que, de par sa forte implication dans les Masters, l'équipe accueille aussi chaque année un grand nombre de stagiaires de M2, voire de M1. L'équipe organise ainsi une *réunion de présentation des stages* au printemps, qui leur permet de présenter à l'équipe leur sujet d'étude.

L'équipe a pu bénéficier de la visite en tant que *Professeure invitée* d'Ann Nowe [2] pendant 1 mois en Mai 2022.

L'équipe a pu également bénéficier d'une visite de 5 mois (Septembre 2019 - Janvier 2020) de Magda El-Zarki, Professeure à l'Université de Californie, Irvine, en tant que *Chercheuse invitée* [3].

Référence 3. L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

La participation à de nombreux projets est un élément structurant de l'activité scientifique de l'équipe. Nous présentons les principaux ci-dessous, en ordre chronologique inverse :

- *Projets ANR*. Trois projets sur la période, dont un où l'équipe était porteuse, autour des thématiques de coordination, délibération et décision collective : AMANDE (2013 – 2018), Cocorico-CoDec (2014 – 2018), THEMIS (2021 – 2025)
- *Projets avec soutien CNRS (INS2I)*. Autour des thématiques de simulation multi-agents : TerraNeon (depuis 2018, souien CNRS Innovation) ; AGEXPA (2018, PEPS) ; de la thématique des langages et des environnements de développement multiagents (EMAS, 2017 –2019, PICS) ; de la production d'explications dans un contexte d'aide à la décision (SAT4EX, PEPS, 2018)
- *Projets avec des collectivités locales*. WorkSim (2006-2018, appel Région Ile-de-France) : simulateur multi-agents du marché du travail français.
- *Projet au niveau local (Sorbonne Université et LIP6)*. Projet du programme Projets exploratoires, Observatoire des Patrimoines (OPUS), IdEx Sorbonne Universités Pour l'Enseignement et la Recherche (SUPER) "Gestion Participative de Patrimoines Socio-Écologiques (GePa2)", 2017–2018

2. https://ai.vub.ac.be/team/ann-nowe/
3. https://www.ics.uci.edu/faculty/profiles/view_faculty.php?ucinetid=elzarki

Référence 4. L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.

Notre attractivité en terme de compétences techniques sur les aspects de modélisation, de simulation et de développement de systèmes multi-agents, ainsi que sur les aspects algorithmiques de la créativité et de la création de contenu, ont amené plusieurs industriels (Thales, UbiSoft, Toyota, Aubay) et organismes d'états (Pole Emploi) à collaborer avec nous.

Domaine 3. Production scientifique

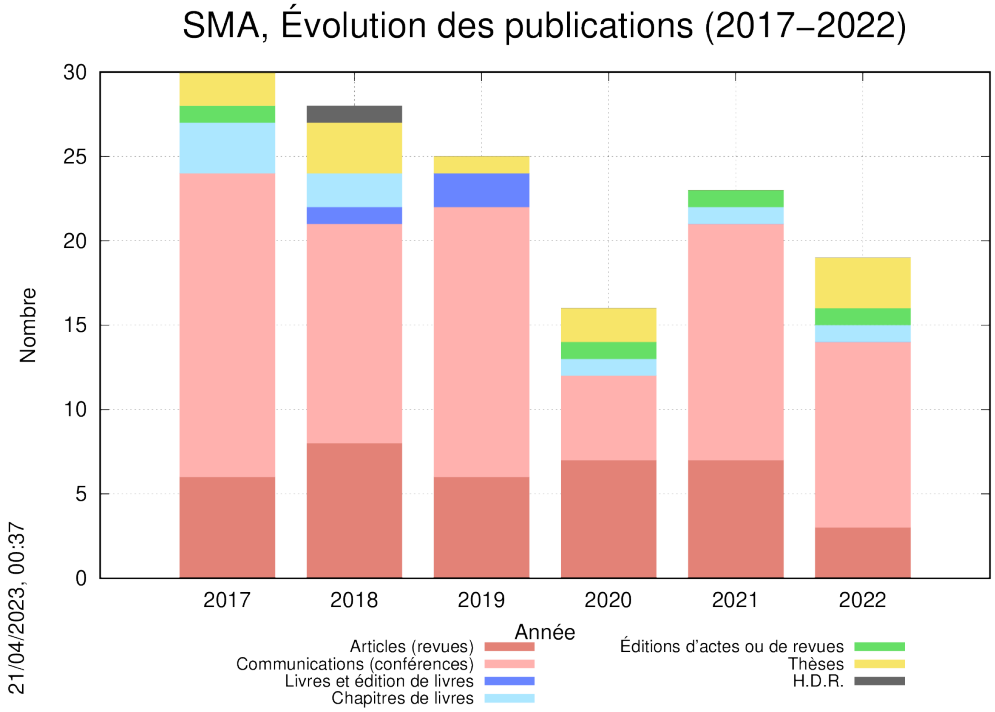


FIGURE 1 – Évolution des publications entre 2017 et 2022

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Articles (revues)	1.09	1.60	1.33	1.55	1.55	0.66
Communications (conférences)	3.27	2.60	3.55	1.11	3.11	2.44

TABLE 2 – Publications par ETPR par an entre 2017 et 2022

Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.

En terme de *publications scientifiques*, l'équipe SMA porte une grande attention à la qualité des supports visés. L'équipe publie de manière régulière dans les journaux ou conférences de référence du domaine. On peut citer en particulier sur la période une quinzaine de publications dans les conférence AAMAS, IJCAI, ECAI, KR, ainsi que des publications dans les journaux AIJ, JAIR, JAAMAS, JASSS. Les publications impliquent régulièrement des co-auteurs d'institutions reconnues nationalement et internationalement (en particulier : PUC Rio Brésil, King's College et University College London, University of Amsterdam, National Tsing Hua University Taïwan). L'implication régulière de partenaires industriels sur les publications illustrent aussi la qualité de ces publications en terme de transfert possible vers le monde socio-économique.

En terme de *production logicielle*, l'équipe a une activité soutenue que nous cherchons autant que possible à diffuser en open source, en particulier autour du développement d'architectures et de plateformes multi-agents (voir élément de portfolio 4). Les activités dans les autres thématiques impliquent également des activités de développement significatives.

Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.

Tous les membres de l'équipe sont impliqués autant que possible dans la production scientifique. En particulier, les doctorantes et doctorants sont fortement impliqués dans la rédaction d'articles et, lorsque c'est possible, sont choisis préférentiellement pour aller présenter leurs travaux en conférence.

Référence 3. La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.

L'équipe est particulièrement vigilante à informer les jeunes chercheuses et jeunes chercheurs sur les bonnes pratiques (identification de journaux prédateurs, publications sur en accès ouvert, etc.). Les bonnes pratiques en terme de développement logiciel (reproductibilité des expérimentations informatiques, évaluation de leur impact environnemental) sont également soulignées, ce qui est facilité par le fait qu'un positionnement sur ces aspects est maintenant souvent demandé dans les conférences de notre domaine. Enfin, les questions éthiques liées à l'utilisation de l'IA ont fait l'objet de présentations dédiées.

Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

Référence 1. L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

Les activités de recherche menées au sein de l'équipe donnent lieu à des partenariats avec

- de grands acteurs industriels : Thales (Chaire IA avec SCAI sur la thématique des radars intelligents, thèses CIFRE), UbiSoft (thèse CIFRE), Toyota (accueil d'un chercheur), Sony (conseil scientifique dans le cadre du projet ERC Flow Machine), Aubay (thèse CIFRE), USNC (thèse CIFRE) ;
- de jeunes pousses (Yokai, sur le thème du contrôle de génération d'images à l'aide de techniques avancées d'apprentissage profond, thèse CIFRE, consultation scientifique et membre de l'Advisory Board) ;
- de grands organismes sociaux : Pôle Emploi (projet NumJobs de simulateur multi-agents de l'impact du numérique sur l'emploi, thèse CIFRE)

Les membres de l'équipe participent de surcroît régulièrement à des échanges avec le monde non-académique, par exemple dans le cadre du Hub France IA, de journées ou de clubs industriels dans le cadre du GDR IA et de la plateforme AFIA, ou encore par le biais du suivi des stages dans le parcours de Master ANDROIDE.

Référence 2. L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

Les activités de simulation multi-agents effectuées dans l'équipe se caractérisent par des enjeux sociétaux forts. Le projet WorkSim étudie le marché du travail français et a permis l'évaluation de politiques publiques (e.g. seule modèle à évaluer quantitativement la Loi EL Khomri). On peut citer également Numjobs pour l'impact du numérique et de l'IA sur l'emploi (avec Pôle Emploi). Dans le domaine de l'environnement, on peut citer le projet TerraNeon qui vise à réduire l'impact des activités humaines sur le climat et la biodiversité, ainsi que le projet SeGePa de jeu sérieux pour la gestion participative de ressources socio-environnementales dans les cités intelligentes. Ces projets ont reçu respectivement les soutiens de : CNRS Innovation (prématuration), la SATT Lutech, le programme myStartup de Sorbonne Université et le Centre de Développement Technologique de l'Institut Interfaces du Tremplin Carnot de Sorbonne Université en collaboration avec l'entreprise BleuSolid.

Sur un autre plan, les membres de l'équipe sont particulièrement investis sur la formation, avec en particulier la co-responsabilité du parcours de Master ANDROIDE (AgeNts Distribues, Robotique, Recherche Opérationnelle, Interaction, DEcision.

Référence 3. L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

Mediation scientifique. De nombreuses actions de médiation scientifique sont réalisées par les membres de l'équipe : participation aux ateliers de la Fête de la Science (atelier d'informatique déconnectée autour de l'algorithmique du partage équitable en 2018 et 2019, présentation du jeu sérieux SimParc en 2022), à la journée européenne de la recherche (2021,2022), interventions dans les lycées dans le cadre du concours ≪Egalité

Femme/Homme vis-à-vis des sciences » en 2020, des rencontres Declics de la Fondation Schlumberger pour l'Education et la Recherche chaque année depuis 2019, intervention atelier de robotique en école primaire en 2017, participation à l'exposition itinérante Ensemble, au cœur des sciences, à Sorbonne Université.

Interventions dans le débat public. Nous prenons aussi part au débat public par nos interventions dans les medias ou lors de tables rondes : au sein de la Commission mondiale d'éthique de l'UNESCO, Artificial intelligence and its impact on society", International Conference "Desirable Tomorrows", Colégio Brasileiro de Altos Estudos (CBAE), UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brésil, 2021.

Participation à des instances supra-nationales. Une membre de l'équipe est nommée à la Commission Mondiale d'Ethique des connaissances Scientifiques et des Technologies (la COMEST) de l'UNESCO pour la période 2020-2023.

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES EXTERNES

[1] Noam Brown. *Equilibrium Finding for Large Adversarial Imperfect-Information Games*. Phd thesis, Carnegie Mellon University, 2021.

[2] Shushman Choudhury, Jayesh K. Gupta, Peter Morales, and Mykel J. Kochenderfer. Scalable anytime planning for multi-agent MDPs. In *Proceedings of the 20th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, AAMAS '21, page 341–349, Richland, SC, 2021. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

[3] Allan Dafoe, Yoram Bachrach, Gillian Hadfield, Eric Horvitz, Kate Larson, and Thore Graepel. Cooperative AI : machines must learn to find common ground. *Nature*, 593(7857) :33–36, May 2021.

[4] Dominik Peters. *Fair Division of the Commons*. Phd thesis, University of Oxford, 2020.

[5] Ariel Rosenfeld. Strategic human-agent interaction : From promoting traffic safety to search and rescue. In *Proceedings of the 17th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, AAMAS '18, page 4, Richland, SC, 2018. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

[6] Fernando P. Santos. *Dynamics of Reputations and the Self-organization of Cooperation*. Phd thesis, Instituto Superior Técnico, 2018.

[7] Adhiraj Somani, Nan Ye, David Hsu, and Wee Sun Lee. DESPOT : Online POMDP planning with regularization. *J. Artificial Intelligence Research*, 58 :231–266, 2017.

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES SIGNIFICATIVES DE SMA

[Beynier et al., 2021] Beynier, A., Maudet, N., Rey, S., and Shams, P. (2021). Swap Dynamics in Single-Peaked Housing Markets. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 35(2) :20.

[Briot et al., 2019] Briot, J.-P., Hadjeres, G., and Pachet, F.-D. (2019). *Deep Learning Techniques for Music Generation*. Computational Synthesis and Creative Systems. Springer Verlag.

[Fontbonne et al., 2022] Fontbonne, N., Maudet, N., and Bredeche, N. (2022). Cooperative Co-Evolution and Adaptive Team Composition for a Multi-Rover Resource Allocation Problem. In *European Conference on Genetic Programming*, volume 13223 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 179–193, Madrid, Spain. Springer. EvoStar EuroGP Best Paper Nomination.

[Kant et al., 2020] Kant, J.-D., Ballot, G., and Goudet, O. (2020). WorkSim, an Agent-Based Model to Study Labor Markets. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(4).

[Soares de Oliveira de Souza et al., 2021] Soares de Oliveira de Souza, M., Nuno de Souza Moura, P., and Briot, J.-P. (2021). Music tempo estimation via neural networks - a comparative analysis. In de Computação SBC, S. B., editor, *The 18th Brazilian Symposium on Computer Music (SBCM 2021)*, volume ISSN : 2175-6759 of *Proceedings of the 18th Brazilian Symposium on Computer Music (SBCM 2021)*, pages 20–27, Online, Brazil.

A ANNEXE — MEMBRES PERMANENTS AU 31/12/2022

La table ci dessous liste les membres permanents de l'équipe SMA.

NOM	Prénom	Corps	Employeur
ABDALLAH	Maha	MCF	Sorbonne Université
BEYNIER	Aurélie	MCF (HDR)	Sorbonne Université
BRIOT	Jean-Pierre	DR	CNRS
CORRUBLE	Vincent	MCF	Sorbonne Université
EL FALLAH SEGHROUCHNI	Amal	PR	Sorbonne Université
HERPSON	Cédric	MCF	Sorbonne Université
KANT	Jean-Daniel	MCF (HDR)	Sorbonne Université
MAUDET	Nicolas	PR	Sorbonne Université

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 01

Publication

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : Swap dynamics in single-peaked housing markets. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 35 (2), art. number 20, 2020.

URL de l'élément : `https://hal.science/hal-03210447`
(version ArXiV `https://arxiv.org/pdf/1906.10250.pdf`)

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Cet élément est particulièrement représentatif des travaux menés au sein de l'équipe dans le domaine du partage équitable de ressources par approches multiagents.

Ce domaine a donné lieu à de nombreux travaux, portant d'abord sur des propriétés fondamentales des approches distribuées [3,5,8,10], mais aussi sur des relaxations de notions d'équité au premier rang desquels l'absence d'envie, qui consiste à s'assurer que chaque agent est au moins autant satisfait avec son lot de ressources qu'avec le lot obtenu par n'importe quel autre agent. Cette notion a été plébiscitée et appliquée dans de nombreux domaines, [1, 6, 7] pour des exemples. Toutefois, l'existence d'une allocation sans envie ne peut être garantie en général et le calcul d'une telle allocation pose des difficultés de calcul.

Dans ce contexte, nous avons étudiées des relaxations de la notion d'absence d'envie se basant sur l'utilisation de graphes de visibilité sous-jacents [4], sur la prise en compte du point de vue d'autres agents du système avant de statuer sur l'envie [12], ou encore sur la minimisation et l'équilibrage de degrés d'envie au sein du système [11]. Ces travaux ont en particulier été menés en collaboration avec des collègues de l'équipe Décision, du LAMSADE et du LIG, et ont impliqué des étudiants en thèse et en Master.

Ces travaux, développés au sein de l'équipe, s'inscrivent dans la thématique plus large du choix social computationnel qui a connu un développement croissant au sein de la communauté multi-agents ces dernières années (tutoriels, prix IFAAMAS et nombreux articles dans cette thématique aux conférences comme AAMAS, IJCAI, ECAI). De plus, un numéro spécial de la revue *Journal of Autonomous Agents and Multiagents Systems* dédiée à la problématique du partage équitable a été édité [9], ce qui témoigne de son importance pour la communauté.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Cet article présente plusieurs résultats liés à un cadre simple et très étudié : celui de l'allocation de maisons (house allocation) qui consiste à attribuer un objet unique à chaque agent. Dans ce contexte, il est connu que l'algorithme de *top trading cycle* (TTC) dispose de propriétés souhaitables (Pareto-optimalité, résistance à la manipulation, incitation à la participation), et de surcroit qu'il est le seul à pouvoir les garantir [13]. Toutefois en considérant la restriction de domaine des préférences uni-modales (single-peaked), d'autres protocoles peuvent offrir les mêmes garanties. Sophie Bade [2] a par exemple proposé l'algorithme du Crawler.

Nous montrons de manière complémentaire que les dynamiques basées sur les échanges bilatéraux (*swaps*) permettent d'atteindre une solution Pareto-optimale, et de surcroit que le domaine des préférences uni-modulaires est maximal (au sein où tout domaine l'incluant perdrait la garantie de convergence vers une solution avec la propriété souhaitée). L'article mène également une large étude expérimentale sur l'efficacité et l'équité des solutions obtenues par différentes types de dynamiques, en comparaison des approches centralisées de TTC et du Crawler.

Ce travail a été présenté à l'occasion de plusieurs séminaires, devant des audiences d'informaticiens et d'économistes.

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] David J. Abraham, Robert W. Irving, and David F. Manlove. Two algorithms for the student-project allocation problem. *J. of Discrete Algorithms*, 5(1) :73–90, March 2007.

[2] S. Bade. Matching with single-peaked preferences. *Journal of Economic Theory*, 180 :81–99, 2019.

[3] Aurélie Beynier, Sylvain Bouveret, Michel Lemaître, Nicolas Maudet, Simon Rey, and Parham Shams. Efficiency, Sequenceability and Deal-Optimality in Fair Division of Indivisible Goods. In *18th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2019)*, Montreal, Canada, May 2019.

[4] Aurélie Beynier, Yann Chevaleyre, Laurent Gourvès, Ararat Harutyunyan, Julien Lesca, Nicolas Maudet, and Anaëlle Wilczynski. Local Envy-Freeness in House Allocation Problems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 33(5) :591–627, September 2019.

[5] Aurélie Beynier, Nicolas Maudet, and Anastasia Damamme. Fairness in Multiagent Resource Allocation with Dynamic and Partial Observations : Extended Abstract. In *the 17th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2018)*, Stockholm, Sweden, July 2018.

[6] S.J. Brams and A.D. Taylor. *Fair Division : From Cake-Cutting to Dispute Resolution*. Cambridge University Press, 1996.

[7] Eric Budish. The combinatorial assignment problem : Approximate competitive equilibrium from equal incomes. *Journal of Political Economy*, 119(6) :1061 – 1103, 2011.

[8] Yann Chevaleyre, Ulle Endriss, and Nicolas Maudet. Distributed Fair Allocation of Indivisible Goods. *Artificial Intelligence*, 242 :1–22, January 2017.

[9] Edith Elkind, Nicolas Maudet, and Warut Suksompong. Guest Editorial : Special Issue on Fair Division. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 36(2) :33, May 2022.

[10] Nathanaël Gross-Humbert, Nawal Benabbou, Aurélie Beynier, and Nicolas Maudet. Sequential and swap mechanisms for public housing allocation with quotas and neighbourhood-based utilities, extended abstract. In *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS)*, pages 1521–1523, 2021.

[11] Parham Shams, Aurélie Beynier, Sylvain Bouveret, and Nicolas Maudet. Minimizing and balancing envy among agents using Ordered Weighted Average. In *7th International Conference on Algorithmic Decision Theory*, Toulouse, France, November 2021.

[12] Parham Shams, Aurélie Beynier, Sylvain Bouveret, and Nicolas Maudet. Fair in the Eyes of Others. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 75 :913–951, September 2022.

[13] L. Shapley and H. Scarf. On cores and indivisibility. *Journal of mathematical economics*, 1(1) :23–37, 1974.

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 02

Publication

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément :

WorkSim : An Agent-Based Model of Labor Markets

URL de l'élément : `https://www.jasss.org/23/4/4.html`

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Le Projet WorkSim (`http://worksim.lip6.fr/`) a conçu un outil innovant de simulation multi-agents du marché du travail français, qui permet aux décideurs d'étudier finement le marché de travail, ainsi que d'évaluer les effets d'une politique publique particulière. Il est calibré sur de nombreuses données réelles, et est à l'échelle de la population française réelle. C'est un exemple signifiant de la puissance de l'apport de la simulation multi-agents pour étudier un systèle complexe, fournir une aide à la décision en matière d'évaluation des politiques publiques.

Plusieurs modèles à base d'agents avaient été proposés pour modéliser le marché du travail [1, 5–7], mais il nous est apparu qu'il fallait un modèle plus détaillé, afin de pouvoir évaluer une plus grande variété de politiques. Après un premier modèle qui nous a servi de preuve de concept [4], nous avons proposé un nouveau modèle, profondément remanié : WorkSim. Il s'agit là du modèle basé agents d'un marché du travail le plus complet (connu à ce jour) et qui plus est entièrement calibrés sur des données réelles, à l'échelle de la France(alors que de nombreux modèles ne le sont pas).

L'article sélectionné est la publication de référence pour WorkSim : il présente le modèle, sa calibration, et montre comment nous l'avons utilisé pour évaluer plusieurs politiques publiques.

Le point d'orgue de ces évaluations concerne notre évaluation de la loi travail EL Khomri, introduite en 2016. Il s'agit là de la seule évaluation quantitative existante pour cette loi, ce travail a d'ailleurs été salué par la Commission Européenne [2] et le FMI [3]. Cela a fait également l'objet d'un grand intérêt auprès des médias [9] .

Grâce à ces accomplissements, nous avons été contactés par Pôle Emploi, pour dévélopper à leur usage un outil fondé sur WorkSim, mais plus complet : NumJobs [8], qui comprend une modélisation encore plus fine du marché du travail (ajout de compétences), et également une économie complète à l'échelle de la France.

WorkSim est donc un projet séminal pour notre équipe en matière de simulation multi-agents, et voilà pourquoi nous vous proposons de le présenter ici à travail cet article de référence.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Dans cet article, nous donnons un aperçu du modèle WorkSim, un cadre basé sur des agents conçu pour étudier les marchés du travail. Le premier objectif de ce modèle était de reproduire, dans le cadre d'une comptabilité stock-flux rigoureuse, les flux bruts d'individus entre les principaux états de travail : c'est-à-dire l'emploi (en distinguant les contrats à durée déterminée et les contrats à durée indéterminée), le chômage et l'inactivité. Les institutions légales françaises du marché du travail sont modélisées de manière assez détaillée et contraignent les décisions des agents sur les flux d'emplois et les flux de travailleurs. Les entreprises et les individus sont hétérogènes et toutes les décisions sont prises sur la base de la rationalité limitée, mais les employeurs comme les travailleurs forment des anticipations imparfaites.

Une nouveauté théorique importante du modèle est que nous considérons des entreprises à emplois multiples et des chocs sur la demande individuelle des entreprises. Les employeurs tiennent compte des chocs anticipés lorsqu'ils décident des types de contrat. Une fois le modèle calibré, l'objectif secondaire est de caractériser la nature du marché du travail étudié, et notamment les rôles différenciés des deux types de contrats et leur impact sur le chômage.

Pour ce faire, nous avons d'abord examiné les schémas des flux et des stocks de main-d'œuvre et ensuite, par des expériences de sensibilité, modifié certains paramètres exogènes et des variables telles que la demande totale.

Nous avons ensuite utilisé le modèle comme un outil pour expérimenter les politiques du marché du travail, y compris les changements dans le droit du travail en France. Nous terminons cette partie par une évaluation quantitative de loi traval El Khomri (facilitation des licenciements économiques). Sur ce point, nous montrons des résultats inédits : si cette facilitation était appliquée massivement, on constate qu'elle n'améliore pas l'emploi global, mais modifie profondément le marché du travail français : embauches majoritaires en CDI, avec des CDI des précaires ; améliorations de l'emploi des jeunes au détriment de celui de leurs ainés (50 ans et plus).

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Herbert Dawid, Simon Gemkow, Philipp Harting, and Michael Neugart. On the effects of skill upgrading in the presence of spatial labor market frictions : An agent-based analysis of spatial policy design. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(4) :5, 2009.

[2] EU. Country report france 2017. Technical report, European Commission, Brussels, Belgium, 2017.

[3] IMF. IMF country report 16/228. Technical report, International Monetary Fund, Washington DC, USA, 2016.

[4] Zach Lewkovicz and Jean-Daniel Kant. A multi-agent simulation of a stylized French Labor Market : emergences at the micro-level. *Advances in Complex Systems*, 11(2) :217–230, April 2008.

[5] Christian Martin and Michael Neugart. Shocks and Endogenous Institutions : An Agent-based Model of Labor Market Performance in Turbulent Times. *Computational Economics*, 33(1) :31–46, February 2009.

[6] Michael Neugart. Endogenous Matching Functions : An Agent-Based Computational Approach. *Advances in Complex Systems (ACS)*, 7(02) :187–201, 2004.

[7] Michael Neugart and Matteo Richiardi. Agent-based models of the labor market. *The Oxford Handbook of Computational Economics and Finance*, pages 667–687, 02 2018.

[8] NumJobs. `http://numjobs.lip6.fr/`, 2022.

[9] WorkSim. `http://www-poleia.lip6.fr/~kant/worksim/index-FR.html`, 2016.

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 03

Logiciel ou bibliothèque logicielle

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : Plateformes de développement et de simulation multi-agents

URL de l'élément : `https://jade-project.gitlab.io/` et `https://dedale.gitlab.io/`

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Cet élément illustre l'implication de l'équipe dans le développement de plateformes utiles à l'ensemble de la communauté multi-agents. Nous présentons plus spécifiquement deux plateformes : la première, Dedale, a été initiée et principalement développée au sein de l'équipe. La seconde plateforme, Jade (Java Agent DEvelopment framework), a été développée par des collègues italiens, et distribué par Telecom Italia, au début des années 2000. Le site et dépôt principal vient d'être transféré au laboratoire, traduisant l'implication de membres de l'équipe dans les récents développements. Les deux plateformes sont développées en Java.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

3.1 Dedale

La plateforme Dedale [3] offre un environnement dédié à l'étude de mécanismes de coordination et d'apprentissage multi-agents. L'objectif est d'offir un cadre réaliste de simulation, reposant en particulier sur une gestion asynchrone des agents et de leurs communications. La plateforme permet en particulier de paramétrer simplement les capacités d'observation et de communication des agents, ainsi que de générer différents types d'environnements. La plateforme est utilisée dans un cadre pédagogique au sein du Master ANDROIDE.

3.2 Jade

La plateforme Jade [1] a été développée avec l'objectif de fournir un middleware permettant en particulier de développer des systèmes multi-agents vérifiant les spécications de la FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents, créée en 1996 dans le but de proposer des standards pour le développement des systèmes multi-agents, et dissoute en 2005 pour devenir un comité de standardisation de IEEE). Très utilisée [2] autant pour déployer des applications industrielles que dans un cadre de recherche ou d'enseignement, la plateforme offre une gestion simple de la programmation des agents et de leur communication, ainsi que de leur déploiement, éventuellement sur des terminaux mobiles.

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Fabio Luigi Bellifemine, Giovanni Caire, and Dominic Greenwood. *Developing Multi-Agent Systems with JADE (Wiley Series in Agent Technology)*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2007.

[2] Federico Bergenti, Giovanni Caire, Stefania Monica, and Agostino Poggi. The first twenty years of agent-based software development with jade. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 34 :1–19, 2020.

[3] Cédric Herpson. Dedale : Demonstrating a realistic tesbed for decentralized multi-agents problems. In *18th International Conference on Practical Applications of Agents and multi-agents systems*, Aquila, Italy, October 2020.

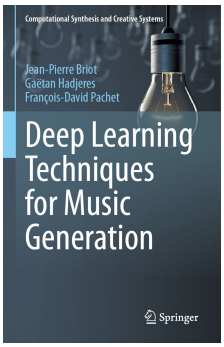
ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 04

Publication

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : Créativité et génération de contenu [1]

URL de l'élément : `https://arxiv.org/abs/1709.01620`



2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Lors du précédent rapport d'activité (en 2017), notre équipe SMA avait annoncé son intention de travailler dans le domaine de la génération de contenu, en particulier musical, en explorant les techniques récentes (d'apprentissage profond) pour capturer des styles musicaux et générer de nouveaux contenus avec un contrôle par l'utilisateur. Cette activité a résulté en divers types de production, résumés dans cet élément de portfolio.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

3.1 Analyse

L'ouvrage [5], paru en 2019 et ayant pour ambition une analyse systématique des systèmes publiés et une méthodologie de choix parmi les différents types de modèles et architectures neuronales et de stratégies de génération, en fonction des objectifs et des défis, est rapidement devenu une référence en la matière. Il possède déjà 171 références et sa version libre ArXiv [4] (parue incrémentalement dès 2017) 332 références, représentant ainsi un total de plus de 500 références (selon Google Scholar, le 15 mars 2023).

Pour information, d'autres articles invités, reprenant et complétant cette étude, ont également été publiés [2, 3, 6].

3.2 Recherche

- Contrôle de la course incessante à la puissance des modèles, en proposant une méthodologie de compromis entre qualité de génération et coût énergétique [7] – la thèse de Constance Douwes, à l'UMR STMS (IRCAM-CNRS-SU), dirigée par Jean-Pierre Briot et Philippe Esling (SU/STMS), soutenue le 10 mars 2023.
- Analyse des choix de représentation musicale ("tokenization" et "embeddings") et de leur impact en terme de qualité de génération [8] – la thèse CIFRE de Nathan Fradet, au LIP6 et à Aubay, dirigée par Jean-Pierre Briot et Amal El Fallah-Seghrouchni et co-encadrée par Fabien Cheel (ESEO) et Nicolas Gutowski (Université d'Angers), débutée en mai 2021.

1. `https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-70163-9`

3.3 Enseignement et vulgarisation

Un des premiers cours sur le sujet a été créé (`https://webia.lip6.fr/~briot/cours/unirio3/`) et différents séminaires et articles de vulgarisation ont été réalisés (ex : [1]).

3.4 Transfert

Consultations effectuées pour Sony CSL-Paris (sur l'aide à la création musicale) et pour la jeune pousse Yokai (sur la personnalisation d'images).

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Jean-Pierre Briot. Apprentissage profond et génération musicale. *Tangente – L'aventure mathématique*, (68) :30–37, September 2019. Hors série Intelligence artificielle.

[2] Jean-Pierre Briot. Compress to create. *MusMat – Brazilian Journal of Music and Mathematics*, IV(1) :12–38, June 2020. Invited.

[3] Jean-Pierre Briot. From artificial neural networks to deep learning for music generation – History, concepts and trends. *Neural Computing and Applications (NCAA)*, (33) :39–65, January 2021. Special issue on Neural networks in art, sound and design, edited by Juan Romero and Penousal Machado.

[4] Jean-Pierre Briot, Gaëtan Hadjeres, and François Pachet. Deep learning techniques for music generation – A survey. ArXiv, September 2017. arXiv :1709.01620.

[5] Jean-Pierre Briot, Gaëtan Hadjeres, and François-David Pachet. *Deep Learning Techniques for Music Generation*. Computational Synthesis and Creative Systems. Springer Verlag, 2019. `https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-70163-9`.

[6] Jean-Pierre Briot and François Pachet. Music generation by deep learning : challenges and directions. *Neural Computing and Applications (NCAA)*, 32(4) :981–993, January 2020. Special-issue on Deep learning for music and audio, edited by Dorien Herremans and Ching-Hua Chuan.

[7] Constance Douwes, Giovanni Bindi, Antoine Caillon, Philippe Esling, and Jean-Pierre Briot. Is quality enough ? Integrating energy consumption in a large-scale evaluation of neural audio synthesis models. In *Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2023)*, Rhodes Island,, June 2023. IEEE.

[8] Nathan Fradet, Jean-Pierre Briot, Fabien Chhel, Amal El Fallah Seghrouchni, and Nicolas Gutowski. Byte pair encoding for symbolic music. ArXiv, January 2023. arXiv :2301.11975.