

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



DOCUMENT D'AUTOÉVALUATION
Équipe MOCAH



Campagne d'évaluation 2023-2024 — Vague D

Table des matières

1	INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉQUIPE MOCAH	3
1.1	Les thématiques scientifiques et leurs enjeux	3
	Positionnement scientifique par rapport au contexte international	3
	Avancées scientifiques majeures dans la période	6
	Animation scientifique de l'équipe	7
2	INTRODUCTION DU PORTFOLIO	9
3	AUTOÉVALUATION DU BILAN	10
3.1	Autoévaluation de l'équipe	10
	Domaine 2. Attractivité	10
	Domaine 3. Production scientifique	12
	Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société	14
4	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES EXTERNES	16
5	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES SIGNIFICATIVES DE MOCAH	17
A	ANNEXE — MEMBRES PERMANENTS AU 31/12/2022	19

1 INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉQUIPE MOCAH

Nom de l'équipe : Modèles et Outils en ingénierie des Connaissances pour l'Apprentissage Humain (MOCAH)

Responsable de l'équipe : Vanda LUENGO

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PR	1	1	1	1	1	1
MCF HDR	1	1	1	1	1	1
MCF	3	3	3	3	3	4
DR	0	0	0	0	0	0
CR HDR	0	0	0	0	0	0
CR	0	0	0	0	0	0
Total permanents	5	5	5	5	5	6
Émérites	4	4	4	4	4	3
Doctorants	9	8	5	3	5	6
Ingénieurs CDD ou hors tutelles	0	1	0	1	2	0
Post-doc, ATER, etc.	1	2	1	1	1	1
Stagiaires	5	4	3	5	2	6
Total non permanents	15	15	9	10	10	13
Total avec émérites	24	24	18	19	19	22
Equivalent temps plein recherche	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0

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

1.1 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

L'équipe MOCAH conduit une recherche fortement interdisciplinaire dans le domaine du numérique éducatif. En particulier, nous menons des collaborations avec des équipes en sciences cognitives, sciences de l'éducation et didactique des disciplines.

Positionnement scientifique par rapport au contexte international

MOCAH a un positionnement original en France, et identifié à l'international, associant la recherche sur les environnements hautement interactifs pour l'éducation (tels que les jeux sérieux) et la conception de modèles et algorithmes intégrant des traces de ces environnements et les connaissances humaines nécessaires à leur utilisation. L'objectif est de concevoir des systèmes d'aide à l'apprentissage à travers la modélisation de l'apprenant, du diagnostic et de la rétroaction ainsi que des outils de suivi pour les acteurs du système (enseignants, apprenants, concepteurs, administrateurs des systèmes d'apprentissage, ingénieurs pédagogiques, etc.). Les thématiques principales de l'équipe sont l'intelligence artificielle en éducation (AIED), la fouille des données éducatives (EDM ou educational data mining) et l'analytique des apprentissages numériques (LA ou learning analytics).

De plus, lors de cette période, nous avons démarré des recherches et des collaborations dans le domaine de l'enseignement de l'informatique (Computer Science Education) dans des environnements de type jeux sérieux, mais aussi dans des environnements de programmation.

Intelligence artificielle et Fouille des données en Éducation. L'Intelligence artificielle pour l'éducation s'intéresse à la modélisation des connaissances à enseigner, de l'apprenant et de la pédagogie ainsi qu'à l'opérationnalisation des raisonnements sur ces modèles [3, 7]. Des verrous liés à l'IA en éducation sont dus à la difficulté de rendre explicites et calculables les connaissances pour ces trois types de modèles. En effet, ces connaissances sont souvent implicites, mal définies, voire peu consensuelles ([4]) et ce type d'élicitation nécessite des connaissances issues de sciences humaines et sociales (éducation, psychologie, didactique, etc.). Ainsi, l'équipe aborde la question de l'IA en éducation avec une approche centrée humain.

En effet, nos recherches impliquent l'humain à différentes étapes, telles que l'explicitation des connaissances, l'évaluation des connaissances produites par le système, l'analyse des usages des modèles, méthodes ou algorithmes proposés. Dans ce domaine, nos travaux sont principalement orientés vers la modélisation de l'apprenant et du processus décisionnel des rétroactions pédagogiques ou épistémiques. En ce qui concerne la modélisation informatique de l'apprenant qui est multi-dimensionnelle (cognition, métacognition, motivation, etc.), nous mettons en place des approches symboliques, numériques et mixtes.

Un exemple de modélisation symbolique est l'ontologie du domaine des connaissances conçue dans le cadre du projet MindMath qui permet de reconnaître la démarche de résolution d'un apprenant dans le domaine de l'algèbre



et de la géométrie. Cette ontologie a été conçue en collaboration avec des didacticiens et a été utilisée par des enseignants pour modéliser, dans la plateforme du projet (<https://www.mindmath.education>), les exercices proposés et leurs variables décrivant des aspects tels que la complexité ou la portée, les connaissances associées à ces exercices et enfin les procédures valides ou invalides pour résoudre ces exercices.

Un exemple de modélisation numérique de l'apprenant est la conception d'un algorithme de clustering visant à proposer des regroupements d'élèves appris sur l'ensemble des classes sur la base de critères de maîtrise de compétences en mathématiques. Ce clustering est ensuite appliqué classe par classe à intervalles réguliers pour proposer à l'enseignant, via un tableau de bord, un suivi de l'évolution de ses groupes d'élèves, afin de faciliter la mise en place de stratégies de pédagogie différenciée [Harrak and Bouchet, 2021].

Enfin, un exemple de modélisation mixte, s'appuyant sur des modèles graphiques probabilistes [1], est un travail de thèse qui propose une approche de modélisation de l'apprenant avec des réseaux bayésiens dynamiques (DBN). Les liens de causalités du DBN représentent des liens de prérequis entre les composantes de connaissances du domaine. Les paramètres associés à ces liens de prérequis sont appris grâce à une méthode d'approximation à partir des données d'observations de l'activité des apprenants. Des choix de modélisation ont permis de réduire le nombre des paramètres du modèle tout en les rendant plus interprétables pour l'expert humain [Allègre et al., 2021].

De plus, pour mieux pouvoir modéliser l'apprenant, nous sommes souvent amenés à nous intéresser à l'analyse des liens entre, d'une part, des processus psychologiques liés à l'apprentissage tels que la métacognition, les émotions, ou le flow, et d'autre part les traces d'apprentissage d'élèves dans des environnements numériques. Ces travaux étant hautement pluridisciplinaires, nous nous appuyons régulièrement sur des collaborations avec des chercheurs en psychologie ou sciences de l'éducation. Ainsi, dans le cadre d'une thèse CIFRE de l'équipe, nous avons pu nous intéresser à la mesure et à la correction des déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité chez des jeunes enfants accomplissant des exercices d'apprentissage de la lecture, à la fois en français et en anglais [Sergent et al., 2021b].

Nous avons également pu, dans le cadre de collaborations avec des collègues canadiens et états-uniens, nous intéresser à l'analyse de l'impact émotionnel de différents prompts [Bouchet et al., 2018b] ou feedbacks lors de différentes phases d'utilisation d'un système de type tuteur intelligent [Harley et al., 2018b], MetaTutor. Plus généralement, le travail sur ce système a ouvert de nombreuses pistes sur l'utilisation conjointe de traces d'interaction multimodales riches (oculométrie, activité électrodermale, expressions faciales) [Azevedo et al., 2022]. Enfin dans le cadre de MOOCs, en collaboration avec des collègues des universités de Lille et de Lyon2, nous avons pu croiser l'activité des élèves avec leurs réponses à des questionnaires sur leurs buts d'apprentissage, et ainsi mettre en évidence l'importance du flow comme variable médiatrice permettant de comprendre et donc de mieux prédire la performance ou le décrochage [Chaker et al., 2022].

Quant à la modélisation de la rétroaction, l'objectif est de proposer des méthodes et algorithmes pour choisir, en fonction des activités des élèves, le feedback le plus adapté pour les aider à progresser dans leurs apprentissages. Nous abordons cette recherche d'abord sous l'angle de la modélisation elle-même de la rétroaction pour ensuite nous intéresser aux processus de décision raisonnant dans un monde incertain (connaissances des apprenants, état du monde, impact de la décision...). Ainsi le modèle de rétroaction permet d'orienter l'expert dans l'élicitation des connaissances nécessaires pour le système de décisions et permet également d'orienter le choix de la décision.

Du point de vue de l'IA, la décision des rétroactions dépend de multiples variables latentes sur l'apprenant et son activité qui ne sont pas observables directement [2, 5] et rendent difficile, même pour des experts du domaine, le choix de la rétroaction la plus adaptée à un élève résolvant une tâche. On peut s'intéresser aussi aux conséquences que peut avoir cette rétroaction en termes de gain d'apprentissage pour l'élève. Dans le cadre de cette recherche, nous explorons les algorithmes de type bandit multi-bras [Bourrier et al., 2017a] et plus largement des algorithmes d'apprentissage par renforcement pour aider à réduire l'incertitude de la décision des rétroactions. L'humain ici intervient dans deux étapes : d'une part, pour atténuer le problème du démarrage à froid de l'algorithme de décision et, d'autre part, pour la définition de la fonction de récompense [Jolivet et al., 2022].

Learning Analytics. Les travaux de recherche de l'équipe MOCAH dans cette thématique couvrent toutes les étapes du processus allant de la collecte à l'analyse de traces en passant par leur visualisation [6]. L'équipe s'intéresse à l'ingénierie de traces et à l'ingénierie de processus d'analyse, mais aussi à la conception, la modélisation et l'adaptation de tableaux de bord.

Du côté ingénierie de traces, une de thèse CIFRE a exploré l'idée d'une approche guidée par les modèles, montrant comment l'intégration très en amont de la question du traçage de l'activité d'un élève sur une ressource facilite en aval la mise en place d'indicateurs d'apprentissage dans des tableaux de bord [Morais Canellas et al., 2021a].

Du côté ingénierie de processus d'analyse, le travail de thèse co-encadré avec l'équipe TWEAK du laboratoire LIRIS à Lyon, a montré la possibilité de décrire et de réutiliser des processus d'analyse en s'appuyant sur une description ontologique [Lebis et al., 2018].

Enfin, concernant les tableaux de bord, nous nous intéressons à la fois au côté élève et au côté enseignant. Côté élèves, le travail réalisé dans une thèse co-encadré avec Lille propose une méthode de co-construction de tableaux de bord par les étudiants [Oliver-Quelebec et al., 2022b], en s'intéressant à des indicateurs de collaboration lors de la conception puis à l'adaptation du tableau de bord en fonction de la période et des attentes des étudiants universitaires [Oliver-Quelebec et al., 2022a]. Du côté enseignant, la thèse CIFRE avec Lallilo a permis de faire remonter, sur un tableau de bord à destination de l'enseignant, des indicateurs sur des déficits liés à l'autorégulation (sous-évaluation, sur-évaluation de soi, sentiment d'auto-efficacité) identifiés lors de l'apprentissage de la lecture chez des enfants de 5 à 7 ans [Sergent et al., 2021b]. Le travail mené dans le cadre du projet Adaptiv'Math nous a conduit à travailler sur la meilleure manière de permettre à l'enseignant de visualiser et de comprendre les clusters d'élèves formés dans sa classe en fonction de leurs activités [Harrak and Bouchet, 2021].

"Computer Science Education". L'enseignement de l'informatique en France est profondément bousculé depuis une petite dizaine d'années. La création du CAPES d'informatique en 2019 et de l'agrégation en 2021 en sont témoins. L'informatique est donc aujourd'hui abordée dans l'enseignement primaire et secondaire non plus comme un simple outil mais comme une science à part entière. Ce basculement pose des défis immenses pour l'éducation nationale avec des enjeux considérables de formation des enseignants, notamment dans l'enseignement primaire. Les enseignants doivent être aidés/outillés pour mieux aborder ces notions avec leurs élèves.

L'équipe MOCAH mène des recherches sur cette thématique notamment à travers le développement de la thématique de l'enseignement de la pensée informatique. Dans le cadre du projet ANR IECARE (2019-2023) nous proposons un modèle de scénarisation qui a été opérationnalisé dans une plateforme de scénarisation rendue disponible librement pour la communauté éducative. Cette plateforme nommée Scénoclasse¹, à travers les traces qu'elle produit (conformes RGPD) nous permet d'analyser les comportements des enseignants lors du processus de scénarisation. Elle nous permet également de travailler sur des rétroactions adaptatives dans le but de soutenir l'activité professionnelle des enseignants, en particulier, des débutants.

Ce projet illustre bien les efforts investis par l'équipe pour combiner des approches symboliques et numériques puisque, d'une part, le modèle de scénarisation a été conçu itérativement et conjointement avec des didacticiens de l'enseignement de l'informatique et des utilisateurs finaux (formateurs et enseignants de primaire) et d'autre part, les données générées suivant ce modèle sont analysées via des processus de machine learning adaptés au contexte d'usage.

Jeux Sérieux. L'articulation des dimensions ludiques et pédagogiques reste un défi pour la conception de jeux sérieux et nous menons des recherches dans ce sens à la fois à destination des *game designers* et des enseignants. Concernant les *game designers*, nous travaillons sur un modèle de scénario permettant de définir des situations de jeu atomiques et auto-connectables. Ce modèle est développé dans le cadre d'une thèse CIFRE sur le domaine de l'identification de *soft skills* [Hernandez et al., 2022b]. Concernant les enseignants, nous travaillons sur la mise en place d'outils méthodologiques pour les aider à penser des scénarios de jeu sérieux multi-joueurs et multi-rôles afin de créer des situations de jeu favorisant l'apprentissage collaboratif entre les joueurs. Ce travail est réalisé dans le cadre d'une thèse co-encadré avec Lille.

La dimension hautement interactive des jeux sérieux pose aussi des questions relatives à l'accessibilité de ces ressources aux personnes en situation de handicap. Cette question de l'accessibilité a été travaillée selon deux axes.

Le premier est orienté génie logiciel et consiste à étudier l'architecture de développement Entity-Component-System. Cette architecture logicielle en plein développement dans le domaine du jeu vidéo est porteuse de mécanismes favorisant la modularité et l'évolutivité des moteurs de jeu. Nous étudions cette architecture comme moyen facilitateur d'intégrer des fonctionnalités d'accessibilité dans les jeux sérieux.

Le second axe est pluridisciplinaire et est centré sur la réingénierie de jeux sérieux existants. Dans une première phase, nous avons travaillé sur un jeu sérieux dont l'objectif est de sensibiliser les joueurs aux questions de l'accessibilité et de la société inclusive. Nous avons ainsi pu rendre compte des outils méthodologiques et des processus de transformation engagés par des enseignants lors de la transformation de ce jeu sérieux. Un même jeu sérieux a ainsi été repensé pour proposer 3 contenus ou scénarios différents (introduction à la pédagogie, bases de l'informatique et sensibilisation aux questions de l'accessibilité et de la société inclusive).

1. <https://scenoclasse.lip6.fr/>

Avancées scientifiques majeures dans la période

Approches numériques et mixtes. Dans le domaine de l'intelligence artificielle en éducation (AIED), en ce qui concerne la modélisation de l'apprenant, nous avons des résultats sur les approches numériques et mixtes. Concernant l'approche mixte, le travail le plus avancé est dans le cadre d'une thèse pour lequel nous avons développé des méthodes d'analyse de textes combinant règles expertes et classifieurs automatiques sous forme de système ensembliste [Harrak et al., 2019a]. Ce travail est centré sur l'analyse de questions posées par les étudiants dans des classes hybrides (présentiel et distanciel) [Harrak et al., 2019c] ou en ligne (MOOC) [Harrak et al., 2019e]. Un schéma de codage de questions d'étudiants et étudiantes a été proposé, reposant sur des modèles d'annotation et d'apprentissage automatique. Il a fait l'objet d'une évaluation par des enseignants [Harrak et al., 2019b]. Sur la base de clustering sur les questions des années passées, ce travail a montré la possibilité de caractériser de nouveaux étudiants en termes de performance, présence [Harrak et al., 2019c], ou même de capacités d'auto-régulation.

Quant aux approches numériques, des résultats de recherche ont permis de développer, dans le cadre du projet Adaptiv'Math, une brique logicielle, nommée SACCOM, qui est utilisée conjointement avec un algorithme d'apprentissage adaptatif (ZPDES) développé par l'équipe Flowers d'INRIA Bordeaux [Bouchet and Roy, 2021]. Cette brique a depuis été valorisée via un dépôt auprès de l'APP (Agence pour la Protection des Programmes), réalisé en partenariat avec la SATT Lutech, et un contrat de licence exclusive a été signé entre Sorbonne Université, le CNRS et EvidenceB pour son utilisation. Elle est maintenant intégrée dans les différents produits de l'entreprise.

Modélisation de la Rétroaction. En ce qui concerne la modélisation de la rétroaction, nous avons développé une approche décisionnelle, qui s'appuie sur l'apprentissage par renforcement, pour le choix des feedbacks et du séquençage adaptatif d'activités d'apprentissage (Adaptive instructional sequencing). L'expertise humaine est utilisée dans cette approche, d'une part, pour guider la politique de décision à travers la définition de la fonction de récompense et, d'autre part, pour répondre au problème du démarrage à froid bien connu en apprentissage automatique [Yessad, 2022b].

Jeux sérieux à grands espaces d'états. Par ailleurs, nous avons poursuivi nos travaux sur la modélisation des procédures de résolution dans des jeux sérieux à grands espaces d'états. Deux contributions ont été réalisées sur la période :

- ▶ la première est un algorithme d'analyse des actions du joueur en temps réel exploitant des réseaux de Petri et permettant d'associer à chaque action une ou plusieurs valeurs sémantiques liées à la procédure de résolution d'un niveau de jeu [Muratet et al., 2018];
- ▶ la seconde concerne l'aide à la construction des réseaux de Petri qui restait une tâche complexe, pour laquelle nous avons proposé un DSL (*Domain Specific Language*) ainsi qu'un ensemble de patterns de réseaux de Petri. Chaque pattern modélise une partie atomique du jeu et le DSL permet de décrire les liens entre chaque pattern [Muratet et al., 2022b].

Cette seconde contribution concerne un verrou important qu'est la construction des réseaux de Petri modélisant les jeux sérieux à grands espaces d'états. La définition du langage permet d'assister les concepteurs dans cette construction souvent chronophage, complexe et nécessitant une véritable expertise d'ingénierie [Muratet et al., 2022b].

Dans le cadre de nos travaux sur l'entité-composant-système (ECS), nous avons développé la bibliothèque FYFY² pour l'environnement de développement de jeux vidéo Unity³. Cette bibliothèque a été publiée sur l'Asset Store de Unity⁴ et a été téléchargée depuis juin 2020 près de 400 fois.

Traces numériques d'apprentissage. Enfin, l'équipe a beaucoup œuvré pour pouvoir capitaliser des traces numériques d'apprentissage tant au niveau local qu'au niveau national. Au niveau local nous avons mis en place une plateforme de collecte de traces qui est utilisée dans plusieurs projets et collaborations. Cette plateforme contient des traces de plusieurs environnements (LMS, jeux sérieux, exercices,...) et est un outil maintenant stable au service des recherches de l'équipe. Toujours au niveau local, nous avons accompagné la modélisation des traces de la plateforme de jeux ikigai ainsi que celle des traces issues du LMS de la faculté de sciences en ingénierie. L'équipe est aussi responsable de la gestion et de l'archivage des traces des cours proposés par Sorbonne Université au niveau de la plateforme de MOOC d'EdX, SorbonneX.

Expérimentations en environnement réel. D'une manière générale, l'équipe s'est rapprochée du Centre d'Accompagnement pour la Pédagogie et SUpport à L'Expérimentation (CAPSULE) de la Faculté des Sciences et

2. <https://gitlab.lip6.fr/mocah-public/FYFY>

3. <https://unity.com/>

4. <https://assetstore.unity.com/packages/tools/ai/fyfy-157154>

Ingénierie. Ce centre a, entre autres, comme missions de déployer, maintenir, administrer les plateformes pédagogiques de la faculté et de soutenir l'expérimentation en pédagogie.

Ce rapprochement s'est fait en deux temps. D'abord car l'équipe était impliquée initialement dans la création et la direction de Capsule, et ensuite via l'inclusion de son actuel directeur dans l'équipe MOCAH en tant que chercheur associé. Depuis plusieurs années, un effort important est fait pour rendre disponibles aux chercheurs les données éducatives que le centre gère. Dans ce but, la conception et la mise en place d'un premier prototype d'un dispositif complet unifiant les traces récoltées [Noel et al., 2020] a fait l'objet d'un projet, LAPAD (Learning Analytics Pour des Apprentissages Différenciés), financé par le MESR (lauréat AMI 2019 - Transformation numérique et pédagogique⁵).

Le rapprochement entre l'équipe et le centre s'appuie aussi sur les CME de CAPSULE (Chargés de Mission d'Enseignement de type conseil/expertise). Les CME interviennent pour mettre en place des protocoles expérimentaux afin d'évaluer des transformations des enseignements ou des dispositifs pédagogiques. Ces protocoles rigoureux permettent aux membres de MOCAH de s'appuyer dessus pour mener des travaux de recherche.

Au niveau national, plusieurs collaborations avec des entreprises (EvidenceB, CabriLog, Kelis, Lalilo, et Tralalère) ont bénéficié de notre expertise pour la spécification des modèles de traces et des techniques de collecte. Ce travail d'ingénierie et d'expertise a principalement comme objectif de permettre que les traces soient interopérables à partir du format international xAPI. Si plusieurs modèles s'inscrivent dans des initiatives internationales où nous sommes présents (GAIA-X DASES - Prometheus-X), des travaux sur les modèles de traces incluant les rétroactions sont plus exploratoires et font partie des perspectives de l'équipe.

Animation scientifique de l'équipe

L'équipe organise des séminaires mensuels avec des interventions de doctorants et doctorantes, stagiaires, chercheurs ou chercheuses invitées. La période de la pandémie a bousculé notre fonctionnement et, pour maintenir la cohésion, nous avons retenu une rencontre hebdomadaire en ligne. Par la suite, nous sommes revenus à un rythme mensuel mais nous avons maintenu la possibilité de participer à distance et mis en place des séminaires co-modaux. Cela a permis que certains séminaires soient annoncés dans nos réseaux scientifiques et aient eu un certain impact (plus de 40 participants).

Invités. Pendant la période, l'équipe a accueilli plusieurs chercheurs et chercheuses : Diego Camacho Vega (Universidad de las Californias, publication), Cristina Conati (University of British Columbia, soumission de projet bilatéral et publication), Michel Desmarais (Polytechnique Montréal, animation doctorale), Alejandra Martínez Monés (Universidad de Valladolid, publication), Agathe Merceron (Berliner Hochschule für Technik - University of Applied Sciences, soumission d'un projet Européen non accepté), Gilbert Paquette (professeur émérite de l'Université TÉLUQ, séminaire universitaire), Sasha Poquet (National University of Singapore, animation SOLAR), Khalifa Sylla (Université virtuelle du Sénégal, publication), Kalina Yacef (University of Sydney, publications).

Par ailleurs, l'équipe a été impliquée dans l'animation scientifique du réseau parisien AIDA (Approche Interdisciplinaire pour les Dispositifs informatisés d'Apprentissage). De plus, l'équipe est bien investie dans l'animation scientifique au niveau national et international. Dans cette période nous avons organisé en 2019 la conférence internationale francophone de référence dans notre domaine (EIAH) et en 2021 la conférence internationale dans le domaine de la fouille des données éducatives (EDM).

Conférence EIAH. L'équipe MOCAH a organisé la 9ème édition de la conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH). EIAH est une conférence internationale francophone bi-annuelle, placée sous l'égide de l'ATIEF (Association des Technologies de l'Information pour l'Éducation et la Formation). EIAH'2019 a eu lieu sur le campus Pierre et Marie Curie du 4 au 7 juin 2019. La thématique scientifique de la conférence en 2019 était la question des données numériques et la manière dont elles peuvent être exploitées pour favoriser la prise en compte de l'apprenant dans les environnements numériques dédiés à l'éducation. L'édition 2019 a connu un grand succès avec une participation record de plus de 200 chercheurs, industriels et enseignants. En plus des sessions scientifiques habituelles, nous avons organisé un forum EdTech où des acteurs importants de l'écosystème des entreprises EdTech françaises et des acteurs de l'éducation (enseignants, inspecteurs, DNE) ont pu se rencontrer autour d'initiatives et de produits technologiques innovants dans le domaine du numérique éducatif.

Conférence EDM. L'équipe MOCAH a également co-organisé la 14ème édition de la conférence annuelle internationale Educational Data Mining (EDM) sous la responsabilité de l'association IEDMS (International Educational Data Mining Society). Malgré nos tentatives pour organiser cette conférence en mode hybride, elle a finalement

5. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/ami-2019-les-laureats-et-leurs-projets-48996>

eu lieu exclusivement en ligne du 29 juin au 2 juillet 2021. Cette édition a battu le record du nombre d'inscrits (plus de 400) et de sponsors, notamment le ministère de l'éducation nationale par le biais de la Direction du Numérique Éducatif. Cette organisation a permis d'ancrer l'équipe dans la communauté EDM et d'accroître sa visibilité auprès de celle-ci, puisque la plupart des membres de l'équipe sont désormais dans le comité de programme de la conférence.

2 INTRODUCTION DU PORTFOLIO

L'équipe a choisi de proposer trois publications et une vidéo. Les trois publications montrent la collaboration intraéquipe sur nos thématiques principales. La vidéo illustre nos efforts de développement logiciel pour qu'ils soient utiles et utilisables.

- ▶ **Élément 1 (publication)** : Harrak, F., Bouchet, F., & Luengo, V. (2019). From Student Questions to Student Profiles in a Blended Learning Environment. *Journal of Learning Analytics*, 6(1), 54-84.
- ▶ **Élément 2 (publication)** : Muratet, M., Carron, T., & Yessad, A. (2022). How to assist designers to model learning games with Petri nets ?. In *Proceedings of the 17th International Conference on the Foundations of Digital Games* (pp. 1-10).
- ▶ **Élément 3 (publication)** : Monterrat, B., Yessad, A., Bouchet, F., Lavoué, E., & Luengo, V. (2017). MAGAM : a multi-aspect generic adaptation model for learning environments. In *Data Driven Approaches in Digital Education : 12th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2017, Tallinn, Estonia, September 12–15, 2017, Proceedings 12* (pp. 139-152). Springer International Publishing.
- ▶ **Élément 4 (vidéo)** : projet E-LearningScape.

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.

L'équipe a développé son rayonnement par son expertise dans le domaine des learning analytics, l'intelligence artificielle en éducation et les jeux sérieux.

Invitations dans des institutions académiques ou des congrès internationaux. Les membres de MOCAH sont invités fréquemment sur les thématiques de l'équipe. À titre d'exemple :

- ▶ Dans la thématique de l'IA en éducation les membres de l'équipe ont été invités à donner des séminaires de recherche niveau national tels que 21^{ème} école d'été de didactique des mathématiques à l'île de Ré (2021), Journée d'étude RTP "Education" axe 3 du CNRS (2022), le séminaire du LIG à Grenoble (à distance, 2022) ou dans des séminaires de vulgarisation tels que Educatech (2018 et 2019), l'événement de vulgarisation de Sorbonne Université nommé "il était une fois" (2018), les séminaires de formation de la direction du numérique pour l'éducation DNE (2019), le congrès "inversons la classe CLIC" 2019 ou le Forum international du numérique pour l'éducation (In-FINE) 2021 organisé par Réseau Canopé. En ce qui concerne des rencontres internationales nous étions invités à intervenir dans la SMART School on Computational Behavioral and Social Science en 2018, l'International Congress on Cognitive sciences and Education (2019), à l'école d'automne "AI and education : real-world problems" 2019 et à The Queensland University à Brisbane 2018.
- ▶ Dans la thématique des Learning analytics, au niveau national des membres de l'équipe ont été invités à présenter des résultats dans des manifestations scientifiques ou liées à l'innovation pédagogique tels que RUN 2018 à Lille, Hackeduc 2018 à Poitiers, les rencontres de l'ORME 2019 à Marseille ou dans le cadre du projet DEFI à Toulouse en 2019. Au niveau international des membres de l'équipe ont fait des conférences invitées dans le cadre du projet national "Plan Ceibal" d'Uruguay en 2020 (à distance), au 7^{ème} séminaire CERF à Yverdon (Suisse), dans le Digital Education Stakeholder Forum organisé par la EUDigitalEdu en 2022 à Bruxelles. Enfin l'équipe a fait des échanges, grâce à un projet de collaboration coordonné par le service des relations internationales de Sorbonne Université, avec la National University of Singapore (NUS ALSET).
- ▶ Dans la thématique des jeux sérieux des membres de l'équipe ont été invités à différentes formations telles que Gamagora à Lyon, sur l'architecture logicielle ECS, ou l'IMT, sur la recherche sur les jeux sérieux. Ils sont également été invités à présenter nos résultats de recherche lors des manifestations nationales (CUME avril 2018) et internationales (UVS, Dakar 2022).

Participation aux comités scientifiques de conférences et congrès internationaux. Tel qu'indiqué plus haut, tous les permanents de l'équipe sont dans le comité des programmes des conférences les plus reconnues des thématiques de l'équipe. Dans les domaines de l'intelligence artificielle pour l'éducation, l'analytique des apprentissages ou de la fouille de données éducatives : AIED (A+*/A[†]), LAK (A^{1 2}), IUI (A*), EDM (A+*/B[†]), UMAP (A+*/B[†]), ITS (B*), IJCAI-Demo. Dans le domaine pluridisciplinaire du numérique éducatif : CSCL (A+*/B[†]), EC-TEL (A*/B[†]), CSEDU (B*). Dans le domaine des jeux sérieux : Gala(B*), ECGBL, CIGE. Dans les conférences internationales francophones les plus reconnues : EIAH (A*), IHM(A*). Disciplines connexes : ICCHP (C[†] - conférence sur les technologies d'assistance et l'inclusion digitale), NRAS (revue sur l'éducation et la société inclusive), Didapros (conférence sur la didactique de l'informatique)

Organisation de conférences et congrès internationaux. L'équipe a été très proactive dans l'organisation des conférences au niveau national et international, comme vous pourrez le constater dans le tableau du laboratoire, et a aussi été invité dans ses plusieurs conférences pour faire partie du PC ou GC. De plus l'équipe est impliquée tous les ans des workshops dans les conférences de nos domaines.

Responsabilités éditoriales dans des revues et des collections de haut niveau. Des membres de l'équipe sont membres du comité éditorial des revues JEDM et STICEF. Tous les membres de l'équipe sont membres d'un comité de lecture des revues du domaine : IJAIED (Q1, A+), JLA (Q1,A), UMUI(Q1, A+), JEDM(Q3,B), Computers and education (Q1,A+), STICEF(A), CHB, JLI, IJHCI, IJHCS, ACM TiiS, CandE, et IS (Instructional Science, Q1 en éducation).

1. Classement ATIEF : <http://www.atief.fr/ressources/classement/conferences-internationales>
 2. Classement CORE 2021 : <http://portal.core.edu.au/conf-ranks/>

Participation à des instances de pilotage de la recherche et d'expertise scientifique. Au niveau européen, Gaia-X est le projet sur lequel la stratégie des données de l'Union Européenne est construit. Il s'agit d'une initiative franco-allemande à dimension internationale, fondée initialement par 22 entreprises de divers secteurs économiques (cloud service provider, utilisateurs, recherche et association). Nous participons, au sein du sous-projet Prometheus-X, à la conception du Data Space Education Skills (DASES) au sein de l'initiative GAIA-X et plus précisément sur le travail lié aux traces d'apprentissage. De plus, des membres de l'équipe font des expertises pour les programmes européens Erasmus+ (2021-2027), l'évaluation finale des STREP FP7 (2017), des projets FNR CORE Program Luxembourg (2020), de l'expertise scientifique de l'entreprise CAPTRS⁶ et ont été membres du jury de la meilleure thèse en technologie éducative de l'AUF (2017-2022).

Au niveau national : une membre nommée au CNU 27(2018-2023), une membre jury IUF junior (2021), plusieurs membres dans le comité 38 de l'ANR (2020, 2022), co-présidence de la section 38 de l'ANR (2017-2018), expertise pour financement interne IDEX IRS Grenoble (2018), expertise de projets scientifiques région Nouvelle Aquitaine (2020), comité scientifique de la direction numérique de l'éducation (2017-2018), comité scientifique région pour le projet Campus IA Paul Valéry (2017-2018), comité d'experts HCERES campagne d'évaluation vague E (2018-2019 Côte d'Opale) et vague B (2020-2021 Bordeaux) et conseil scientifique de l'entreprise EvidenceB.

Prix, distinctions. Les prix et distinctions sont donnés par ordre antéchronologiques :

- ▶ Nomination pour le prix du meilleur article étudiant ICALT 2022 [Hernandez et al., 2022b]
- ▶ Médaille d'or de la meilleure communication en lien avec la thématique du Colloque International Game Evolution (CIGE) 2022 [Muratet et al., 2022a]
- ▶ Nomination pour le prix du meilleur article étudiant CSCL 2022 [Oliver-Queleennec et al., 2022c]
- ▶ Prix du meilleur article CELDA 2021 [Oliver-Queleennec et al., 2021b]
- ▶ Nomination pour le prix du meilleur article EC-TEL 2021 [Sergent et al., 2021b]
- ▶ Nomination pour le prix du meilleur article EIAH 2021 [Sergent et al., 2021a]
- ▶ Prix du meilleur jeu dans la catégorie idées novatrices GALA 2021 pour le jeu Covid-25⁷
- ▶ Prix Martiel Vivet du meilleur article RJC-EIAH 2020 [Allègre et al., 2021]
- ▶ Prix du meilleur article EIAH 2019 [Harrak et al., 2019b]
- ▶ Prix du meilleur article CELDA 2018 [Mbatchou et al., 2018b]

Logiciels libres ou jeux de données. L'équipe travaille sur les logiciels suivants :

- ▶ FYFY⁸ : une bibliothèque mettant en oeuvre l'architecture logicielle ECS dans Unity.
- ▶ ELS⁹ : une patron de jeu sérieux de type escape game. Trois instances existent sur les thèmes de l'informatique, la pédagogie et l'accessibilité.
- ▶ SPY^{10 11} : un jeu sérieux pour initier les élèves de cycle 3 à la programmation.
- ▶ Covid25¹² : un jeu sérieux sur le thème de la COVID (récompensé à la conférence GALA 2021 : *best game in late-breaking ideas category*)

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

Une indication sur l'attractivité de l'équipe est le fait que des membres permanents et associés de MOCAH viennent de structures d'enseignement autres que l'UFR d'ingénierie de notre Université (EC de l'Université de Savoie, EC de l'UFR TEB à la faculté de Sciences et ingénierie).

Dans la période écoulée, l'équipe a accueilli un chercheur associé, maître de conférences de l'UFR TEB (de la faculté des sciences et ingénierie). L'équipe a tout d'abord échangé avec lui, à de nombreuses reprises, pour connaître les thèmes qui l'intéressaient et pour qu'il se familiarise avec la recherche dans notre domaine. Puis, nous l'avons systématiquement convié aux séminaires et discussions scientifiques internes de l'équipe afin qu'il puisse élaborer son projet de reconversion scientifique. Son intégration a pu être progressive. Elle se poursuit encore aujourd'hui grâce au statut de chercheur associé que nous avons demandé. Ce statut lui donne accès aux

6. <https://captrs.org/>

7. <https://conf.seriousgamessociety.org/gala-2021-awards/>

8. <https://github.com/Mocahteam/FYFY>

9. <https://github.com/Mocahteam/E-LearningScape>

10. <https://github.com/Mocahteam/SPY>

11. <https://spy.lip6.fr/>

12. <http://www-ia.lip6.fr/muratetm/covid25/>

locaux de l'équipe et permet donc à tous les membres de l'équipe d'interagir plus encore afin qu'il puisse mener à bien sa reconversion thématique vers les Learning Analytics.

L'équipe a également accueilli en 2021 un nouvel enseignant-chercheur, qui était précédemment associé de recherche à l'université de la Colombie-Britannique au Canada. Son intégration a été préparée en amont par des réunions et un séminaire de recherche. À son arrivée, l'équipe a accompagné le nouvel EC en lui permettant de rejoindre en tant qu'encadrant une, qui débutait au même moment sur ses thématiques de recherche. De plus l'équipe, par sa proximité avec Capsule, a aidé au montage d'une collaboration entre un enseignant de Chimie et sa recherche déjà initié au Canada. Cette collaboration a bénéficié de l'accompagnement des CME de CAPSULE et du financement des stages par SCAI.

Aussi, des doctorantes qui sont des ingénieures pédagogiques dans d'autres institutions (deux doctorantes par ailleurs rattachées à l'Université de Lille) ont fait le choix de venir faire leur recherche dans notre équipe.

L'équipe MOCAH a une politique d'accompagnement à travers les séminaires de l'équipe qui sont planifiés au moins une fois par mois et dans lesquels interviennent les stagiaires (au début et à la fin), les doctorants (au moins une fois par an), les invités (au moins une intervention) et les membres de l'équipe (selon les projets). Comme on peut le constater dans nos publications, les doctorants et doctorantes publient avec les permanents et sont systématiquement les premiers auteurs ou autrices des articles. De plus, nous maintenons des collaborations avec les docteurs et docteures de l'équipe. Par exemple, les projets menés avec Mathieu Vermeulen à l'IMT de Lille, les déploiements logiciels et co-publications avec Guy Mbatchou à l'Université Virtuelle du Sénégal ou la valorisation des résultats de recherche avec Fatima Harrak dans l'entreprise EvidenceB. Enfin, la liste de chercheurs invités et chercheuses invitées (cf. 1.1) montre l'attractivité de l'équipe et sa politique proactive grâce, entre autres, aux financements proposés par le laboratoire.

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

MOCAH est très attractive au niveau national. Nous avons obtenu 4 bourses CIFRE, et une bourse résultant d'un co-financement entre l'institut SCAI et les ressources propres de l'équipe issues d'un financement de la direction du numérique pour l'éducation.

Nous avons répondu à plusieurs reprises aux sollicitations de la Direction du Numérique pour l'Education en participant activement à 3 des 9 groupes de travail thématiques sur le numérique 2017-2020 : GT Num1 : Nouveaux espaces d'apprentissage, objets connectés ; GT Num2 : Analyse des traces d'apprentissage « learning analytics » et GTNum 3 : Pratiques collaboratives. Cela a donné lieu à la rédaction de fiches thématiques accompagnées d'interventions dans différents événements ou séminaires : Educatices (Paris), Rencontres nationales de la robotique éducative (Lyon), séminaire sur l'apprentissage collaboratif instrumenté (Lille), Rencontres de l'Orme (Marseille). Concernant l'appel 2021-2024, nous participons à 2 groupes de travail thématiques : GT Num 4.1 : Apprendre avec le jeu numérique ; GT Num 6.1 : Évaluer un dispositif numérique dans l'éducation (handicap, accessibilité et école inclusive).

En ce qui concerne les projets nationaux nous en avons obtenu plusieurs dans des appels très compétitifs (1 ANR, 1 PIA3 IA, 1 FUI).

Enfin, au niveau international, nous avons participé à 5 dépôts de projets et en avons obtenus 2 : un projet dans le cadre d'EIT Health SmashMedicine piloté par l'université d'Oxford, et un projet "Alliance" du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (2022-2025).

Domaine 3. Production scientifique

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Articles (revues)	1.20	1.60	1.20	1.20	1.20	2.33
Communications (conférences)	10.40	7.60	4.80	4.00	9.20	5.66

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 ce qui concerne les thématiques de l'IA en éducation et des learning analytics nous publions dans les meilleures conférences telles qu'AIED (A+), LAK (A+), EDM (A) et nous avons été nommés ou reçu le prix de meilleur

MOCAH, Évolution des publications (2017–2022)

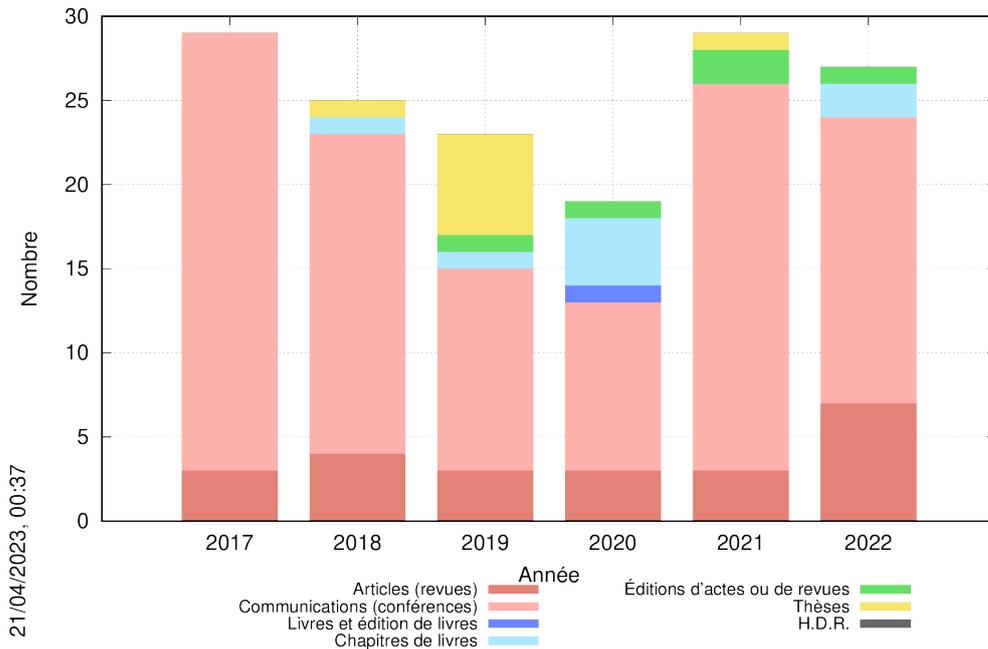


FIGURE 1 – Évolution des publications entre 2017 et 2022

papier (cf. 3.1). Le domaine des jeux sérieux est récent et n'a pas encore la maturité ou le recul pour proposer des conférences de haut niveau et largement reconnues mais le niveau de sélection progresse petit à petit (ECGBL, GALA, ISAGA, SGDA, JCSG). De plus, nous publions sur toutes les thématiques de l'équipe dans les conférences généralistes de notre domaine (EIAH) qui sont de bon niveau tels qu'EC-TEL (A+), GALA (B), ICALT (B), ainsi qu'EIAH (A) qui est la conférence internationale francophone la plus reconnue dans notre domaine. Il est également à souligner la reconnaissance de nos productions logiciels dans cette thématique qui ont reçus plusieurs prix et médailles (cf. 3.1).

En ce qui concerne les revues, nous avons fortement progressé et avons des publications dans des revues très reconnues dans le domaine telles que Computers and Education (Q1,A+), IEEE Transactions on Learning Technologies (Q1,A+), Journal of Learning Analytics (Q1,A), Neural Networks (Q1), Computers in Human Behavior (Q1). De plus nous ne négligeons pas la francophonie et publions régulièrement dans la revue la plus reconnue de notre domaine qui est STICEF.

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

L'équipe MOCAH a une activité de publication importante dans les conférences du domaine. Le rythme de publication est soutenu, régulier et bien réparti entre les membres de l'équipe. La plupart des publications impliquent plusieurs membres de l'équipe et tous les doctorants et doctorantes publient avec leurs encadrants et encadrantes. Plusieurs membres de l'équipe participent à la commission publication mise en place au niveau du laboratoire pour mettre en place des actions visant à consolider des dynamiques individuelles de publication.

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.

Tel qu'indiqué précédemment, l'équipe a la politique d'utilisation du classement de la société savante ATIEF (voir 3.1, p. 12) pour privilégier des revues et conférences classées et éviter les nombreuses revues et conférences prédatrices dans le domaine. De plus, il y a une mise en ligne systématique des travaux produits sur HAL. En ce qui concerne la traçabilité, nous nous efforçons de rendre publics nos codes d'analyse et nos logiciels sont tous open source.

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.

Par ses thématiques de recherche, l'équipe MOCAH a des interactions importantes avec le monde non-académique : entreprises, milieu de l'enseignement non universitaire. Le contexte est doublement porteur pour l'équipe. Premièrement, suite aux différents confinements dûs au COVID qui ont mis en avant les apports des technologies pour l'éducation, et deuxièmement avec la mise en lumière de l'intelligence artificielle ses dernières années, l'équipe est constamment contactée pour avoir des partenariats non académiques.

En ce qui concerne les entreprises, et tel qu'indiqué plus haut, nous avons pendant la période encadré 4 bourses CIFRE avec des entreprises du monde de l'EdTech (entreprises Kelis, Lalilo, Kartable, Origamix). Des entreprises nous ont également contactés pour être associés à des projets qu'elles ont portés (PIA3, FUI, P2IA). Il est néanmoins important de souligner que la fragilité des entreprises EdTech et le milieu parfois peu mature ont fait que certaines collaborations n'ont pas été satisfaisantes du point de vue scientifique ou de la valorisation. Ainsi, deux bourses CIFRE ont dû se terminer sur les financements propres de l'équipe pour permettre la soutenance des doctorants.

Par ailleurs ces collaborations nous ont permis de construire des relations plus pérennes avec certaines entreprises. Ainsi le P2IA Adaptiv'Math (2019-2021) piloté par EvidenceB a permis par la suite la cession des droits de la brique logicielle SACCOM (2022), le co-encadrement de stagiaires (2022), l'entrée de membres de l'équipe au conseil scientifique de l'entreprise, et la soumission d'un dossier pour une thèse CIFRE à venir. Des discussions sont par ailleurs en cours pour un projet ANR commun l'an prochain. L'entreprise est aussi un tremplin professionnel pour d'anciens doctorants puisque 3 du LIP6 y sont désormais en CDI (dont 2 de l'équipe MOCAH). De même, la thèse CIFRE menée conjointement avec Lalilo a permis, dans le contexte d'une nouvelle thèse orientée sur l'analyse de l'équité des algorithmes, d'avoir un accès plus facile et privilégié aux données de l'entreprise.

Par ailleurs, nous avons un partenariat pérenne avec la direction du numérique pour l'éducation à travers un contrat de recherche et un contrat d'animation scientifique. Nous sommes également dans leur comité scientifique sur la veille et la diffusion des travaux de recherche sur le numérique éducatif.

Enfin, nous construisons un partenariat avec la cité scolaire Paul Valéry afin de pouvoir mener des expérimentations à long terme. Nous sommes dans le conseil scientifique de leur projet de campus d'intelligence artificielle accompagné par la région et avons proposé un projet de chaire pour financer des recherches in-situ qui est en cours de montage.

Il est important de souligner le rôle de la Direction de recherche et valorisation (DRV) qui nous accompagne et conseille dans toutes les actions entreprises avec le monde non-académique.

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

Notre domaine de recherche portant sur le domaine éducatif, il est naturel que nos contributions s'appliquent à ce domaine. Voici une liste de logiciels à destination du monde éducatif dans lesquels se retrouvent nos contributions et qui pour certains contribuent aussi à nos recherches par la génération de traces d'utilisation :

- ▶ Le jeu E-LearningScape décliné en trois versions sur les thèmes de la pédagogie, de l'accessibilité et de l'informatique à destination du supérieur ;
- ▶ Le jeu SPY pour découvrir les fondamentaux de la programmation à destination d'élèves de cycle 3 ;
- ▶ La plateforme Scenoclasse pour éditer, partager et visualiser des scénarios pédagogiques sur le thème de la pensée informatique à destination d'enseignants du primaire et du collège ;
- ▶ la plateforme Athena produite par EvidenceB et utilisée pour la production de ces différents produits (Adaptiv-Math, AdaptivLangue, Atticus, AdaptivSeconde...) intègre une brique logicielle de l'équipe (SACCOM) aidant l'enseignant de primaire ou de secondaire à comprendre le travail réalisé par ses élèves sur la plateforme grâce à des clusters d'élèves ayant eu une activité similaire.

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

L'équipe a participé à trois éditions de la fête de la science (2017 à 2019) organisées à Sorbonne Université. Nous avons tenu un stand pour permettre aux participants d'expérimenter le jeu Prog&Play¹³. Nous citons ce jeu ici en

13. <http://progandplay.lip6.fr/>

raison de son utilisation dans le cadre de la fête de la science mais nous n'avons pas mené d'actions de recherche significatives sur cette ressource sur la période 2017-2023, c'est pourquoi nous ne nous y référons pas dans le reste de ce rapport.

L'équipe a été invitée sur radio Kawa¹⁴ pour participer à une table ronde sur le thème du futur du jeu vidéo et de ses fins non-ludiques.

14. <https://www.radiokawa.com/episode/emissions-speciales-30/>

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES EXTERNES

- [1] Gaspard Ducamp, Christophe Gonzales, and Pierre-Henri Wuillemin. aGrUM/pyAgrum : a Toolbox to Build Models and Algorithms for Probabilistic Graphical Models in Python. In *10th International Conference on Probabilistic Graphical Models*, volume 138 of *Proceedings of Machine Learning Research*, pages 609–612, Skørping, Denmark, September 2020.
- [2] Andrew S Lan, Christopher G Brinton, Tsung-Yen Yang, and Mung Chiang. Behavior-based latent variable model for learner engagement. *International Educational Data Mining Society*, 2017.
- [3] Rosemary Luckin and Wayne Holmes. Intelligence unleashed : An argument for ai in education. 02 2016.
- [4] Collin Lynch, Kevin Ashley, Vincent Alevan, and Niels Pinkwart. Defining "ill-defined domains"; a literature survey. 01 2006.
- [5] R Charles Murray, Kurt VanLehn, and Jack Mostow. Looking ahead to select tutorial actions : A decision-theoretic approach. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 14(3-4) :235–278, 2004.
- [6] George Siemens and Ryan SJ d Baker. Learning analytics and educational data mining : towards communication and collaboration. In *Proceedings of the 2nd international conference on learning analytics and knowledge*, pages 252–254, 2012.
- [7] Beverly Woolf. *Building Intelligent Interactive Tutors*. 01 2009.

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES SIGNIFICATIVES DE MOCAH

- [Allègre et al., 2021] Allègre, O., Yessad, A., and Luengo, V. (2021). Amélioration de l'interprétabilité du diagnostic cognitif de l'apprenant par catégorisation des composantes de connaissance. In *10e Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, Transformations dans le domaine des EIAH : innovations technologiques et d'usage(s), pages 34–45, Fribourg, Switzerland. Marie Lefevre, Christine Michel.
- [Azevedo et al., 2022] Azevedo, R., Bouchet, F., Duffy, M., Harley, J., Taub, M., Trevors, G., Cloude, E., Dever, D., Wiedbusch, M., Wortha, F., and Cerezo, R. (2022). Lessons Learned and Future Directions of MetaTutor : Leveraging Multichannel Data to Scaffold Self-Regulated Learning With an Intelligent Tutoring System. *Frontiers in Psychology*, 13 :813632.
- [Bouchet et al., 2018b] Bouchet, F., Harley, J. M., and Azevedo, R. (2018b). Evaluating Adaptive Pedagogical Agents' Prompting Strategies Effect on Students' Emotions. In *14th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2018)*, volume 10858 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 33–43, Montreal, Canada.
- [Bouchet and Roy, 2021] Bouchet, F. and Roy, D. (2021). L'apport combiné de deux algorithmes d'IA à l'optimisation des parcours d'apprentissage dans le projet Adaptiv'Math. In *47ème colloque de la COPIRELEM*, Dispositifs et collectifs pour la formation, l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques, pages 855–868, Grenoble, France. ARPEME.
- [Bourrier et al., 2017a] Bourrier, Y., Francis, J., Garbay, C., and Luengo, V. (2017a). A multi-layered architecture for analysis of non-technical-skills in critical situations. In *Artificial Intelligence In Education*, AIED 2017, Wuhan, China.
- [Chaker et al., 2022] Chaker, R., Bouchet, F., and Bachelet, R. (2022). How do online learning intentions lead to learning outcomes ? The mediating effect of the autotelic dimension of flow in a MOOC. *Computers in Human Behavior*, 134 :107306.
- [Harley et al., 2018b] Harley, J. M., Taub, M., Azevedo, R., and Bouchet, F. (2018b). Let's Set Up Some Subgoals : Understanding Human-Pedagogical Agent Collaborations and Their Implications for Learning and Prompt and Feedback Compliance. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 11(1) :54–66.
- [Harrak and Bouchet, 2021] Harrak, F. and Bouchet, F. (2021). Aide au suivi de la progression de groupes d'apprenants pour la mise en place d'une pédagogie différenciée. In *10e Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, Transformations dans le domaine des EIAH : innovations technologiques et d'usage(s), pages 312–317, Fribourg, Switzerland. Marie Lefevre, Christine Michel.
- [Harrak et al., 2019a] Harrak, F., Bouchet, F., and Luengo, V. (2019a). Categorizing students' questions using an ensemble hybrid approach. In *Educational Data Mining*, Montréal, Canada.
- [Harrak et al., 2019b] Harrak, F., Bouchet, F., and Luengo, V. (2019b). Comparaison de questions posées et votées en ligne dans le cadre d'une classe inversée. In *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, pages 121–132, Paris, France.
- [Harrak et al., 2019c] Harrak, F., Bouchet, F., and Luengo, V. (2019c). From Student Questions to Student Profiles in a Blended Learning Environment. *Journal of Learning Analytics*, 6(1) :54–84.
- [Harrak et al., 2019e] Harrak, F., Luengo, V., Bouchet, F., and Bachelet, R. (2019e). Towards Improving Students' Forum Posts Categorization in MOOCs and Impact on Performance Prediction. In *Learning @ Scale*, pages 47 :1–47 :4, Chicago, United States. ACM Press.
- [Hernandez et al., 2022b] Hernandez, J., Muratet, M., Pierotti, M., and Carron, T. (2022b). Enhancement of a Gamified Situational Judgment Test Scoring System for Behavioral Assessment. In *2022 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pages 374–378, Bucharest, Romania. IEEE.
- [Jolivet et al., 2022] Jolivet, S., Yessad, A., Muratet, M., Lesnes-Cuisiniez, E., Grugeon-Allys, B., and Luengo, V. (2022). Rétroactions dans un environnement numérique d'apprentissage : Modèle de description et décision. *STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation)*, 29(2).
- [Lebis et al., 2018] Lebis, A., Lefevre, M., Luengo, V., and Guin, N. (2018). Capitalisation of Analysis Processes : Enabling Reproducibility, Openness and Adaptability thanks to Narration. In *LAK '18 - 8th International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, pages 245–254, Sydney, Australia. ACM.

- [Mbatchou et al., 2018b] Mbatchou, G. M., Bouchet, F., Carron, T., and Pernelle, P. (2018b). Proposing and evaluating a model of co-construction of the learning scenario by the learner. In Sampson, D. G., Ifenthaler, D., Isaías, P., and Rodrigues, L., editors, *15th International Conference Cognition and Exploratory Learning in Digital Age*, volume ISBN : 978-989-8533-81-4 of *Proceedings of the 15th International Conference Cognition and Exploratory Learning in Digital Age*, pages 208–215, Budapest, Hungary. International Association for Development of the Information Society. Ce papier a reçu le Best Paper Award à l'International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age 2018.
- [Morais Canellas et al., 2021a] Morais Canellas, C., Bouchet, F., Arribe, T., and Luengo, V. (2021a). Learning Analytics Metamodel : Assessing the Benefits of the Publishing Chain's Approach. In *13th International Conference on Computer Supported Education, CSEDU 2021*, volume 1624 of *Communications in Computer and Information Science*, pages 97–114, Virtual event, France. Springer International Publishing.
- [Muratet et al., 2022a] Muratet, M., Mélissa, A., Vanbrugghe, A., Geffroy, V., Ferrand, M.-H., and Planques, T. (2022a). A propos de la création d'un Escape Game à partir d'une coquille de jeu sérieux numérique accessible. In *6ème Colloque International Game Evolution CIGE 2022*, en ligne, France.
- [Muratet et al., 2022b] Muratet, M., Yessad, A., and Carron, T. (2022b). How to assist designers model learning games with Petri nets ? In *Foundations of Digital Games 2022*, Athènes, Greece.
- [Muratet et al., 2018] Muratet, M., Yessad, A., Carron, T., and Ramolet, A. (2018). Un système d'aide à l'analyse des traces des apprenants dans les jeux sérieux. *STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation)*, 25(1). <http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2018/25.1.1.muratet/25.1.1.muratet.htm>.
- [Noel et al., 2020] Noel, Y., Bouchet, F., Mergoïl, R., and Luengo, V. (2020). Towards a modular and flexible Learning Analytics framework. In *Learning Analytics and Knowledge 2020*, pages 178–179, Frankfurt, Germany. SOLAR.
- [Oliver-Queleñec et al., 2022a] Oliver-Queleñec, K., Bouchet, F., Carron, T., Fronton Casalino, K., and Pinçon, C. (2022a). Adapting Learning Analytics Dashboards by and for University Students. In *17th European Conference on Technology Enhanced Learning*, volume 13450 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 299–309, Toulouse, France. Springer International Publishing.
- [Oliver-Queleñec et al., 2021b] Oliver-Queleñec, K., Bouchet, F., Carron, T., and Pinçon, C. (2021b). Can a Learning Analytics Dashboard Participative Design Approach Be Transposed to an Online-Only Context? In *18th International Conference Cognition and Exploratory Learning in Digital Age*, Virtual, Portugal. Best paper award.
- [Oliver-Queleñec et al., 2022b] Oliver-Queleñec, K., Bouchet, F., Carron, T., and Pinçon, C. (2022b). Evaluating the Transposition of a Learning Analytics Dashboard Co-design Tangible Tool to a Digital Tool. In *Open and Inclusive Educational Practice in the Digital World*, Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age, pages 115–133. Springer International Publishing.
- [Oliver-Queleñec et al., 2022c] Oliver-Queleñec, K., Bouchet, F., Carron, T., and Pinçon, C. (2022c). Understanding online collaboration through speech acts associated to Belbin profiles. In *of the Learning Sciences*, I. S., editor, *CSCCL 2022 - 15th International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning*, pages 324–327, Hiroshima, Japan.
- [Sergent et al., 2021a] Sergent, T., Bouchet, F., Daniel, M., and Carron, T. (2021a). Détection de déficits d'auto-évaluation et d'auto-efficacité dans un logiciel enseignant la lecture et l'écriture. In *10e Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, Transformations dans le domaine des EIAH : innovations technologiques et d'usage(s), pages 250–261, Fribourg / Virtual, Switzerland. Marie Lefevre, Christine Michel.
- [Sergent et al., 2021b] Sergent, T., Bouchet, F., Daniel, M., and Carron, T. (2021b). Using Prompts and Remediation to Improve Primary School Students Self-Evaluation and Self-Efficacy in a Literacy Web Application. In *16th European Conference on Technology Enhanced Learning*, volume 12884 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 221–234, Bolzano, Italy. Springer International Publishing.
- [Yessad, 2022b] Yessad, A. (2022b). Personalizing the Sequencing of Learning Activities by using the Q-Learning and the Bayesian Knowledge Tracing. In *17th European Conference on Technology-Enhanced Learning*, Toulouse, France.

A ANNEXE — MEMBRES PERMANENTS AU 31/12/2022

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

NOM	Prénom	Corps	Employeur
BOUCHET	François	MCF	Sorbonne Université
CARRON	Thibault	MCF (HDR)	Université Savoie Mont Blanc
LALLÉ	Sébastien	MCF	Sorbonne Université
LUENGO	Vanda	PR	Sorbonne Université
MURATET	Mathieu	MCF	INSHEA
YESSAD	Amel	MCF	Sorbonne Université

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 01



Publication

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : Harrak, F., Bouchet, F., & Luengo, V. (2019). From Student Questions to Student Profiles in a Blended Learning Environment. *Journal of Learning Analytics*, 6(1), 54-84.

URL de l'élément : <https://doi.org/10.18608/jla.2019.61.4>

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Cet article a été réalisé dans le cadre du travail de thèse de Fatima Harrak [2], co-encadrée par Vanda Luengo et François Bouchet, et par ailleurs récompensé pour une version française de cet article [4] par le prix Monique Grandbastien du meilleur article de la conférence EIAH 2019¹, la conférence internationale francophone principale dans notre domaine. Il s'agit en outre du journal phare de la communauté internationale de recherche autour des learning analytics, portée par l'association SOLAR², qui est un des thèmes de recherche de l'équipe.

En termes de contenu, il est particulièrement représentatif des efforts mis en place par l'équipe pour mélanger des approches symboliques et numériques puisque :

- ▶ il s'appuie sur un schéma de codage de questions d'étudiants constitué sur un cas d'étude particulier (des questions d'étudiants de médecine en situation de classe inversée),
- ▶ l'automatisation de l'annotation des questions a été menée en testant à la fois un système à base de règles et un ensemble de classifieurs entraînés sur des données annotées,
- ▶ un clustering est mené sur les questions d'élèves ainsi annotées.

Il correspond aussi à notre volonté de croiser différentes sources de données puisqu'ici les clusters constitués sur la base des questions sont ensuite expliqués à partir de variables liées à l'activité et à la performance en classe des étudiants. Enfin il montre le besoin fort de pluridisciplinarité dans notre domaine de recherche, puisqu'il s'appuie en partie pour la comparaison des questions posées vs. votées sur le cadre théorique Active-Constructive-Interactive proposé en psychologie de l'apprentissage par [1].

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Ce travail vise à montrer comment l'analyse automatique de questions posées par des étudiants peut permettre d'améliorer l'expérience d'apprentissage des étudiants et des enseignants. Nous nous sommes intéressés aux questions posées par des étudiants en première année d'études de médecine/pharmacie (PACES) sur une plateforme en ligne et qui est utilisée par les enseignants pour préparer des sessions de question-réponse en présentiel. L'objectif est double : côté enseignant, il s'agit de proposer une catégorisation des questions non seulement en fonction de leur nature mais aussi en fonction de ce que l'on sait des élèves qui ont posé des questions de même nature par le passé, afin de sélectionner au mieux les questions auxquelles des réponses sont à donner dans un contexte de concours où il est essentiel de ne pas favoriser certains profils d'étudiants. Côté élève, il s'agit de pouvoir leur proposer à terme un feedback sur la nature des questions qu'ils posent au cours de l'année pour éventuellement les aider à améliorer la pertinence de celles-ci.

Partant d'un corpus de 6457 questions, nous avons développé un schéma de codage multi-dimensionnel pour celles-ci, identifiant notamment la nature de la question (réexplication, approfondissement, vérification), la modalité d'explication (exemple, schéma, correction), le type d'explication demandé (la manière, la raison, le rôle, le lien entre concepts...).

1. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain – <https://eiah2019.sciencesconf.org/>

2. SOciety for Learning Analytics Research – <https://www.solaresearch.org/>

Nous avons ensuite exploré différentes stratégies pour automatiser l'annotation des questions : une approche à base de règles et des classifieurs automatiques à base d'apprentissage machine³. Ces annotateurs automatiques ont été utilisés pour annoter l'ensemble de notre corpus.

Grâce à ce corpus annoté, nous avons pu mener une étude exploratoire des liens existants entre les questions posées et les caractéristiques des étudiants, en regardant plus particulièrement :

- ▶ les étudiants posant des questions vs. ceux qui n'en posaient pas
- ▶ si la proportion des types de questions posées était liée de la performance de l'étudiant
- ▶ si l'analyse de la dynamique des questions posées au cours du temps était liée à la performance des étudiants
- ▶ si les caractéristiques de l'étudiant étaient associées à la nature des questions posées

Ce dernier point a été exploré en utilisant un clustering à base de K-Means pour constituer des clusters uniquement sur la base des proportions de questions posées à différents moments du semestre au sein de 4 cours différents. Nous avons ensuite caractérisé les clusters à l'aide d'attributs non utilisés pour le clustering comme les notes, la participation, le nombre de questions posées et la popularité de celles-ci (en termes de votes reçus). Nous avons pu mettre en avant que dans tous les cours considérés, deux clusters de nature similaire apparaissaient systématiquement (des étudiants en-dessous de la moyenne avec des questions populaires, et des étudiants au-dessus de la moyenne avec des questions peu populaires).

Enfin nous avons répliqué ces analyses sur les mêmes cours mais sur différentes années scolaires pour montrer la stabilité de ces résultats et qu'il était donc possible de prédire le profil d'un élève à partir de la nature des questions posées en ligne.

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Michelene TH Chi. Active-constructive-interactive : A conceptual framework for differentiating learning activities. *Topics in cognitive science*, 1(1) :73–105, 2009.
- [2] Fatima Harrak. *Analyse de questions d'apprenants et de profils associés dans des environnements en ligne*. These de doctorat, Sorbonne université, October 2019.
- [3] Fatima Harrak, François Bouchet, and Vanda Luengo. Categorizing students' questions using an ensemble hybrid approach. In Collin F. Lynch, Agathe Merceron, Michel Desmarais, and Roger Nkambou, editors, *Proc. of the 12th International Conference on Educational Data Mining*, pages 312–317, Montréal, Canada, July 2019. myPub116.
- [4] Fatima Harrak, François Bouchet, and Vanda Luengo. Comparaison de questions posées et votées en ligne dans le cadre d'une classe inversée. In Julien Broisin, Eric Sanchez, Amel Yessad, and Françoise Chenevotot, editors, *Actes de la 9ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, pages 121–132, Paris, France, June 2019.

3. Dans un travail ultérieur, nous avons montré qu'il était possible de les combiner avec une approche ensembliste par stacking pour combler leurs lacunes respectives et améliorer la performance globale [3]

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 02



Publication

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : Muratet, M., Carron, T., & Yessad, A. (2022). How to assist designers to model learning games with Petri nets?. In Proceedings of the 17th International Conference on the Foundations of Digital Games.

URL de l'élément : <https://nuage.lip6.fr/s/AgqfjgHKymmYC74>

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Cet élément a été choisi pour plusieurs raisons. Tout d'abord, l'ensemble des membres de l'équipe travaillant sur l'axe "jeu sérieux" a pris part à ce travail et cela est normal car cela aborde un problème très général lié à la conception en s'appuyant sur un formalisme mathématique connu et reconnu. Ensuite, il valorise des travaux antérieurs sur le feedback adaptatif qui avaient obtenu une récompense de best paper en conférence : les résultats ont pu être mis en application dans nos recherches respectives et expérimentés auprès du public cible. Ces expérimentations ont permis de mettre en lumière l'appropriation par un concepteur de la proposition à différents niveaux de granularité (modélisation d'énigmes simples et conception d'un "super-net" pour l'enchaînement des énigmes) ou éventuellement d'un aspect récursif. Enfin, ce travail de recherche non lié à un projet spécifique ou à une thèse est allé jusqu'à la réalisation d'un outil auteur (plugin Unity 3D) pour être utilisé dans des jeux finaux comme on le voit sur les images fournies et n'est pas resté au stade de prototype de démonstration.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

3.1 Introduction

Pour être intéressants, les jeux et notamment les jeux sérieux doivent laisser à l'utilisateur un grand nombre de choix. La difficulté pour les concepteurs est ensuite de pouvoir vérifier que chaque choix permettra d'arriver au bout du jeu. Sachant que l'utilisateur peut revenir en arrière, on arrive vite à une explosion combinatoire des parcours possibles. En s'appuyant sur un formalisme mathématique adapté, nous parvenons à décrire tous ces états de jeu. Toutefois les concepteurs de jeux sérieux ne sont pas forcément prêts à manipuler ces formalismes abstraits. Nous avons donc créé un outil auteur d'aide à la conception s'appuyant sur ce formalisme qui a été expérimenté auprès de concepteurs de jeux.

Connaître précisément le parcours d'un apprenant dans un jeu sérieux permet de déduire sa progression, son niveau d'apprentissage et donc de lui fournir un feedback précis, au moment opportun : c'est le feedback adaptatif. A partir de ce travail, nous avons étendu la modélisation du jeu complet pour se focaliser sur les concepteurs. Nous avons proposé et mis en place un cadre méthodologique basé sur 2 workflows s'appuyant sur les réseaux de Petri. Le premier concerne la génération de feedbacks adaptés et le second modélise le jeu complètement et correspond à ce qui est présenté dans cet article. L'idée principale consiste à proposer des schémas génériques permettant de lier les objets du jeu et ainsi masquer le formalisme mathématique avec un langage spécifique au domaine. Le réseau de Petri complet (FullPn) peut ainsi être généré automatiquement à partir d'une approche déclarative, plus accessible pour les concepteurs.

3.2 Contribution

La première contribution est l'apport d'un langage spécifique au domaine pour décrire les liens entre les objets du jeu qui doivent être observés. Par exemple, un lien va être modélisé avec un verbe exprimant la contrainte, un poids pour donner une valeur à la contrainte, un état du jeu et un label. Une grammaire formelle simple basée sur les opérateurs ET et OU permet de combiner les liens. On retrouve ainsi les concepts initiaux de places et de transitions propres aux réseaux de Petri masqués derrière les états du jeu et les liens. La seconde contribution est un module permettant de construire le modèle de réseau de Petri et suivre/observer les entités du jeu et ainsi

Élément de portfolio 02 pour MOCAH (LIP6)

d'opérationnaliser les éléments décrits ci-dessus. Ces propositions ont été expérimentées en contexte professionnel et ont permis de créer 23 réseaux de Petri complets (297 places, 231 transitions et 558 arcs à partir de 8 petits schémas génériques (motifs) de réseaux de Petri.

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 03



Publication

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : Monerrat, B., Yessad, A., Bouchet, F., Lavoué, E., & Luengo, V. (2017). MAGAM : a multi-aspect generic adaptation model for learning environments. In Data Driven Approaches in Digital Education : 12th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2017, Tallinn, Estonia, September 12–15, 2017, Proceedings 12 (pp. 139-152). Springer International Publishing.

URL de l'élément : <https://hal.science/hal-01578380>

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Cet article est le fruit d'une collaboration avec l'équipe SICAL du LIRIS. Il s'agit d'un système de calcul qui généralise la recommandation d'activités d'apprentissage adaptatives. Ce travail est original car il permet de combiner plusieurs aspects de l'adaptation (didactique, pédagogique, ludique, etc.) alors que les travaux de l'état de l'art se focalisent généralement sur un seul aspect.

Ce travail a permis de fédérer des recherches précédentes de l'équipe [2] avec des travaux de l'équipe SICAL [3] et mettre en avant des convergences et un potentiel de collaboration à développer.

Cette approche est présentée aux étudiants du parcours M2 ANDROIDE (master Informatique de Sorbonne Université) comme une méthode générique permettant la mise en oeuvre de l'adaptation multi-aspects dans des jeux sérieux. Les étudiants s'appuient dessus pour adapter des parcours de jeux sérieux. Cela constitue, de notre point de vue, un exemple concret du transfert de la recherche vers l'enseignement.

Enfin, ce travail de recherche va dans le sens des efforts de l'équipe à améliorer les systèmes automatiques de décision dans le domaine de l'éducation avec le concours des humains. En effet, la qualité du processus de décision proposé dans cette recherche dépend des connaissances apportées par les acteurs humains impliqués (enseignants, didacticiens, experts du domaine, etc.).

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Dans cette recherche, nous partons de l'approche Q-matrix proposée par Barnes [1] et de plus nous faisons l'hypothèse qu'un modèle générique avec des variables et des opérateurs génériques pourrait aisément être instancié pour fédérer différents aspects lors de l'adaptation. Nous avons conçu le modèle MAGAM (Multi-Aspect Generic Adaptation Model) qui repose sur l'identification de propriétés communes au profil de l'apprenant (représentées par une matrice utilisateurs M) et aux activités d'apprentissage à recommander (représentées par une matrice activités Q). A partir de ces deux matrices M et Q, le système calcule une matrice de recommandation R qui permet de décider quelle activité est la mieux adaptée pour un utilisateur.

L'intérêt de cette approche est sa généricité puisque le même processus peut être instancié à différents aspects de l'adaptation (personnalité de l'utilisateur, sa motivation, ses connaissances, son profil joueur, etc.). Les différentes matrices de recommandation correspondant aux différents aspects sont fusionnées pour construire une seule matrice de recommandation prenant en compte ainsi les différents aspects. Le paramétrage des calculs à faire (calcul des matrices, fusion des matrices recommandation, etc.) dépend du contexte (type d'environnement d'apprentissage utilisé, objectifs des enseignants, etc.) et nécessite une intervention humaine (en particulier des enseignants). Afin de faciliter l'intervention des acteurs humains, une librairie de calculs est proposée et documentée pour différents cas d'usage possibles.

Pour évaluer ce modèle et sa généricité, nous l'avons :

- ▶ instancié pour implémenter différents aspects de l'adaptation issus de travaux représentatifs de l'état de l'art. Ainsi, nous avons pu mettre en place différents aspects de l'adaptation, i.e. permettant au système de s'adapter aux connaissances de l'apprenant, à sa motivation, son profil joueur, ses contraintes temps, etc.

- ▶ expérimenté auprès de 176 étudiants inscrits en première année en sciences à Sorbonne Université, dans le cadre d'un cours hybride de français. L'objectif de cette expérimentation était d'évaluer l'impact de deux aspects d'adaptation (ludique et didactique) sur les apprentissages des étudiants.

L'instanciation de MAGAM aux différents aspects d'adaptation a montré d'une part la faisabilité de l'approche et d'autre part sa généricité et sa capacité à combiner plusieurs aspects d'adaptation. L'expérimentation quant à elle a montré une amélioration significative des résultats des étudiants au test final pour les groupes qui ont eu une adaptation didactique ou une double adaptation didactique-ludique.

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Tiffany Barnes. The q-matrix method : Mining student response data for knowledge. In *American Association for Artificial Intelligence, Educational Data Mining Workshop*, 2005.
- [2] Javier Melero, Naïma El-Kechaï, and Jean-Marc Labat. Comparing two cbkst approaches for adapting learning paths in serious games. In *Design for Teaching and Learning in a Networked World : 10th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2015, Toledo, Spain, September 15-18, 2015, Proceedings 10*, pages 211–224. Springer, 2015.
- [3] Baptiste Monterrat, Élise Lavoué, and Sébastien George. Adaptation of gaming features for motivating learners. *Simulation & Gaming*, 48(5) :625–656, 2017.

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 04



Vidéo

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : E-LearningScape^{1 2}

URL de l'élément : https://youtu.be/WYbos_2Zq50

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Le projet E-LearningScape est une adaptation numérique d'un *escape game* physique réalisé par l'Université Sorbonne Paris Cité et le Centre de Recherche Interdisciplinaire. Cette adaptation numérique a été initiée par Sorbonne Université afin d'être utilisée lors de la formation des enseignants chercheurs nouvellement recrutés. Outre l'équipe MOCAH du Lip6, trois autres partenaires ont également contribué au projet à savoir l'Université Paris Lumière, l'Institut National Supérieur de formation et de recherche pour l'éducation des jeunes Handicapés et les Enseignements Adaptés (INS HEA) et l'association Ikigai. Ce projet est donc le résultat d'une collaboration entre plusieurs partenaires.

Bien que ce projet ait été initié dans une perspective d'enseignement, notre participation au projet a permis d'engager des recherches sur trois dimensions :

- ▶ étudier son architecture de développement pour améliorer son accessibilité et limiter les situations de handicap,
- ▶ analyser les traces d'interactions des joueurs pour repérer leurs difficultés et déterminer les indices utiles à leur progression dans le jeu,
- ▶ étudier l'appropriation de cette ressource pédagogique par des enseignants non informaticiens et son adaptabilité à de nouveaux contenus.

E-LearningScape est donc une ressource pédagogique réellement utilisée (avec plus de 600 sessions de jeu jouées depuis 2021) issue d'une collaboration entre plusieurs acteurs franciliens et qui pose des questions de recherche à la fois dans le domaine de l'informatique et des sciences de l'éducation, à la fois sur l'analyse de données numériques et sur l'analyse de pratiques professionnelles. Ainsi, c'est un projet qui ouvre à la pluridisciplinarité qui est une composante forte de notre équipe.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Avec le jeu E-LearningScape, nous avons pu travailler plusieurs questions de recherches en informatique. La première question de recherche est relative à l'architecture de développement Entity/Component/System (ECS) utilisée dans ce jeu. Cette architecture logicielle en plein développement dans le domaine du jeu vidéo est porteuse de mécanismes favorisant la modularité et l'évolutivité des moteurs de jeu. Dans le cadre de ce projet la question de l'accessibilité du jeu n'avait pas été anticipée, pour autant la collaboration avec l'INS HEA et le souhait de développer une version du jeu sur le thème de l'école inclusive imposait un travail sur le jeu pour faciliter son accès aux personnes en situation de handicap. La question que nous avons travaillée a donc été la suivante : l'architecture logicielle ECS peut-elle avantager la conception, le développement et l'adaptation de jeux vidéo pour l'intégration de fonctionnalités d'accessibilités ? Nous avons procédé au diagnostic de l'accessibilité du jeu par deux experts en accessibilité puis nous avons étudié les avantages et inconvénients de l'architecture ECS pour intégrer les recommandations faites par les experts [2].

Une seconde problématique travaillée dans le cadre de ce projet visait à apporter une aide à l'enseignant conduisant la séance de jeu, notamment en le déchargeant des aides ludique afin qu'il puisse se concentrer sur la dimension pédagogique. Nous avons ainsi poursuivi des travaux précédents de l'équipe visant à modéliser les

1. <https://webia.lip6.fr/~muratetm/elearningscape>

2. <https://gitlab.lip6.fr/mocah-public/e-learningscape>

processus de résolution de jeux sérieux à l'aide de réseaux de Petri [3]. Une des difficultés identifiées dans ces précédents travaux était la production des réseaux de Petri eux-mêmes qui demandent une certaine expertise. La question de recherche que nous avons explorée est donc la suivante : Comment aider les concepteurs de jeu à modéliser un environnement complexe, comme un jeu sérieux, avec un réseau de Petri ? Nous avons ainsi proposé un DSL (*Domain-Specific Language*) permettant de décrire les liens entre des réseaux de Petri simples et réutilisables. Nous avons pu ainsi avec seulement 8 modèles de réseau de Petri modéliser l'ensemble des énigmes du jeu soit 23 réseaux de Petri complexes (297 places, 231 transitions et 558 arcs) [1].

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Mathieu Muratet, Thibault Carron, and Amel Yessad. How to assist designers to model learning games with petri nets? In *Proceedings of the 17th International Conference on the Foundations of Digital Games, FDG '22*, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [2] Mathieu Muratet and Délia Garbarini. Accessibility and serious games : What about entity-component-system software architecture? In Iza Marfisi-Schottman, Francesco Bellotti, Ludovic Hamon, and Roland Klemke, editors, *Games and Learning Alliance*, pages 3–12, Cham, 2020. Springer International Publishing.
- [3] Mathieu Muratet, Amel Yessad, and Thibault Carron. Understanding learners' behaviors in serious games. In Dickson K.W. Chiu, Ivana Marenzi, Umberto Nanni, Marc Spaniol, and Marco Temperini, editors, *Advances in Web-Based Learning – ICWL 2016*, pages 195–205, Cham, 2016. Springer International Publishing.