



COGMATHIA2025



Modéliser l'apprentissage : entre cognition humaine, intelligence artificielle et mathématiques

<https://cogmathia2025.sciencesconf.org/>

Pré-Actes

Conférences, Communications, Posters

Carthage, Novembre 2025



COGMATHIA2025



Résumés des conférences

Conférenciers (par ordre alphabétique)

Benoît Delahaye, Université de Nantes

Fabien Emprin, Université de Reims

Bassem Hamed, Université de Sfax

Guillaume Jouve, Université de Lille

Faten Khalloufi, Université de Carthage

Modélisation et vérification formelles de systèmes complexes

Benoît Delahaye, Université de Nantes, benoit.delahaye@univ-nantes.fr

Le but de cette conférence sera de présenter comment des méthodes formelles telles que le model checking et le model checking statistique peuvent être utilisées en pratique pour étudier des systèmes complexes (hybrides, différentiels) issus de l'environnement.

Dans un premier temps, j'aborderai les principes de la modélisation formelle pour les systèmes complexes, en particulier à l'aide de modèles à états tels que les automates, les chaînes de Markov et les processus de décision Markoviens, en insistant sur la nécessité de prendre en compte la variabilité des systèmes étudiés dès la phase de modélisation. Dans un deuxième temps, je présenterai des techniques formelles de vérification telles que le model checking (statistique), ainsi que des contributions récentes visant à mieux prendre en compte les incertitudes dans la phase de vérification des systèmes étudiés. Finalement, je présenterai deux applications récentes visant à utiliser ces techniques pour étudier des systèmes différentiels et hybrides dans le cadre de l'épidémiologie et de l'écologie forestière.

Mots-clés : model checking, modélisation formelle, chaînes de Markov

Formal modelling and verification of complex systems

The aim of this talk is to present how formal methods such as model checking and statistical model checking can be used in practice for the study of complex (hybrid, differential) systems from the field of environment modelling.

First, I will discuss the principles of formal modelling for complex systems, in particular using state-based models such as automata, Markov chains and Markov decision processes, emphasizing the need to take into account the variability of the systems of interest from the modelling phase onwards. Secondly, I will present formal verification techniques such as (statistical) model checking, as well as recent contributions aimed at better taking into account uncertainties in the verification phase of the systems under study. Finally, I will present two recent applications aimed at using these techniques to study differential and hybrid systems in the context of epidemiology and forest ecology.

Keywords: model checking, formal modelling, Markov chains

IA et didactique des mathématiques : des simulateurs à l'usage des Rag dans la formation des enseignants

Fabien Emprin, Université de Reims, fabien.emprin@univ-reims.fr

Le cœur de notre recherche est l'analyse des pratiques de formation ainsi que des "savoirs" de formation. Nous avons commencé, il y a 15 ans à développer des systèmes experts qui simulent les interactions entre un enseignant et ses élèves ou un formateur et un enseignant. Cette simulation est une première forme d'intelligence artificielle qui permet au formateur de prendre du recul sur leurs pratiques. Ces outils nécessitent l'identification de savoir de formation à implémenter dans les outils. Depuis, l'essor des IAG nous a amenés à nous questionner sur les potentialités des RAG (Retrieval Augmented generation) que l'on pourrait traduire par génération à enrichissement contextuel. Nous avons donc conçu un RAG basé sur les connaissances issues de la recherche en didactique des mathématiques que nous utilisons avec 3 objectifs : l'utiliser en formation d'enseignant, l'utiliser pour la recherche sur les savoirs de formation, travailler à l'amélioration du RAG lui-même. Pour la formation des enseignants, nous développons des situations de formation basées sur la comparaison des réponses du RAG, d'un IAG et d'une recherche documentaire classique pour amener les enseignants à réfléchir sur les compétences nécessaires pour enseigner. Dans le contexte de la recherche, nous l'utilisons en appui d'une analyse lexicale pour identifier les connaissances et savoirs de formation.

Le dernier point, concernant l'amélioration du RAG reste en projet.

Mots-clés : Retrieval Augmented generation, IA, recherche en didactique des mathématiques

AI and didactic of mathematics: From simulators to the use of RAGs in teacher education

The core of our research lies in the analysis of teacher training practices and the associated professional knowledge. Fifteen years ago, we began developing expert systems that simulate interactions between a teacher and their students, or between a teacher educator and a trainee teacher. These simulations represent an early form of artificial intelligence, enabling teacher educators to reflect critically on their practices. Designing such tools requires the identification and formalization of professional knowledge to be embedded within the systems. More recently, the rise of Generative AI has led us to explore the potential of Retrieval-Augmented Generation (RAG), which we might describe as *contextually enriched generation*. We have developed a RAG system grounded in research-based knowledge from the field of didactic of mathematics. This system is used with three main objectives: to support teacher training, to contribute to research on professional knowledge in education, and to work toward the improvement of the RAG model itself. In the context of teacher training, we design learning scenarios that prompt educators to compare responses generated by the RAG, by a conventional generative AI, and by traditional document-based research. This comparative approach is intended to foster reflection on the competencies required for effective mathematics teaching. From a research perspective, we use the RAG system in combination with lexical analysis techniques to identify relevant professional knowledge and practices. The third objective — improving the RAG model itself — remains a work in progress.

Keywords: Retrieval-Augmented Generation, AI, Recherche en didactique des mathématiques

Des théorèmes d'approximation universelle à l'apprentissage incarné : trajectoires mathématiques et limites cognitives de l'intelligence artificielle

Bassem Hamed, Université de Sfax, bassem.benhamed@enetcom.usf.tn

Cette conférence propose une exploration critique des fondements mathématiques de l'apprentissage automatique et de leurs implications pour notre compréhension de la cognition naturelle et artificielle.

Nous retracerons d'abord l'évolution des cadres théoriques qui sous-tendent l'apprentissage profond, depuis les théorèmes d'approximation universelle jusqu'aux architectures transformers. Nous examinerons comment ces résultats mathématiques – issus de l'analyse fonctionnelle, de l'optimisation et des probabilités – ont façonné notre capacité à modéliser des fonctions complexes, tout en soulignant les écarts entre garanties théoriques et performances empiriques. Nous interrogerons ensuite les limites d'une approche purement fonctionnelle de l'intelligence. En nous appuyant sur les sciences cognitives, nous montrerons que l'apprentissage humain ne se réduit pas à une optimisation sur des distributions de données : l'expérience sensori-motrice, la construction active du sens et les dynamiques temporelles révèlent des dimensions que les modèles actuels peinent à capturer.

Enfin, nous esquisserons des pistes pour rapprocher modélisation mathématique et réalisme cognitif : contraintes architecturales neurobiologiques, biais inductifs cognitifs, et cadres formels pour l'apprentissage continu. Nous discuterons également des implications éthiques de ces choix de modélisation dans les contextes éducatifs et décisionnels.

Mots-clés : apprentissage profond, théorèmes d'approximation, cognition incarnée, modélisation mathématique, neurosciences computationnelles

From universal approximation theorems to embodied learning: Mathematical trajectories and cognitive limits of AI

This conference offers a critical exploration of the mathematical foundations of machine learning and their implications for our understanding of both natural and artificial cognition. We will begin by tracing the evolution of the theoretical frameworks underlying deep learning, from universal approximation theorems to transformer architectures. We will examine how key mathematical results—drawing from functional analysis, optimization theory, and probability—have shaped our ability to model complex functions, while highlighting the gap between theoretical guarantees and empirical performance. We will then question the limits of a purely functional approach to intelligence. Drawing on insights from cognitive science, we argue that human learning cannot be reduced to optimization over data distributions: sensorimotor experience, active sense-making, and temporal dynamics point to dimensions of cognition that current models struggle to capture. Finally, we will outline possible pathways for reconciling mathematical modeling with cognitive realism. These include incorporating neurobiological architectural constraints, cognitive inductive biases, and formal frameworks for continual learning. We will also discuss the ethical implications of these modeling choices, particularly in educational and decision-making contexts.

Keywords: deep learning, approximation theorems, embodied cognition, mathematical modeling, computational neuroscience

Quelles modalités d'évaluation universitaires à l'heure de l'IA ?

Guillaume Jouve, Université de Lille, guillaume.jouve@univ-lille.fr

L'essor rapide des intelligences artificielles génératives transforme en profondeur la manière dont les étudiants produisent et présentent leurs travaux et interroge la pertinence des modes d'évaluation universitaires.

Alors que les étudiants développent une maîtrise croissante de ces outils, la recherche en pédagogie et en sciences de l'éducation s'attache à comprendre comment préserver l'équité, la validité et la fiabilité des dispositifs d'évaluation. Les travaux récents mettent en évidence à la fois des risques (fraude, homogénéisation des productions, opacité des processus) et des opportunités. Cette communication se propose de faire le point sur celles-ci tout en discutant les tensions qui peuvent exister entre intégrité académique, innovation technologique et transformation des pratiques enseignantes.

Mots-clés : évaluation, fiabilité des dispositifs IA

What forms of university assessment in the age of AI?

The rapid rise of generative artificial intelligence is profoundly transforming the ways in which students produce and present their academic work, calling into question the relevance of traditional modes of university assessment. As students become increasingly proficient in using these tools, research in pedagogy and educational sciences seeks to understand how to maintain fairness, validity, and reliability in assessment practices.

Recent studies highlight both the risks—such as academic dishonesty, homogenization of student outputs, and the opacity of generative processes—and the opportunities that these technologies present. This presentation aims to provide an overview of current findings while exploring the tensions between academic integrity, technological innovation, and the evolving practices of teaching and assessment.

Keywords: assessment, reliability, generative AI, academic integrity

Modéliser l'apprentissage : un pont entre intelligence humaine et artificielle pour repenser l'enseignement des Mathématiques

Faten Khalloufi, Université de Carthage, faten.khalloufi@fsb.u-carthage.tn

L'apprentissage constitue un socle commun à l'intelligence humaine et à l'intelligence artificielle. Cependant, leurs dynamiques diffèrent profondément : l'humain apprend dans l'action, au contact d'un milieu social et contextuel, mobilisant intuition et créativité ; l'IA apprend par optimisation computationnelle sur de vastes ensembles de données. La modélisation des processus d'apprentissage, qu'elle soit mathématique, cognitive, didactique ou computationnelle, devient ainsi un terrain privilégié pour comparer, relier et interroger ces formes d'intelligence. Dans cette conférence, nous proposons d'explorer comment la modélisation de l'apprentissage peut servir de pont conceptuel et pratique entre IA et cognition humaine, en mettant l'accent sur les implications pour l'enseignement et l'apprentissage des Mathématiques. Nous poursuivons un double objectif : a) Mieux enseigner les mathématiques : Comment les modèles computationnels peuvent-ils s'enrichir des apports de la didactique pour mieux soutenir l'apprentissage humain ? À l'inverse, comment l'analyse des limites de l'IA nous renseigne-t-elle sur la spécificité de l'intelligence humaine ? b) Former une culture critique de l'IA, Comment outiller les enseignants et les apprenants pour qu'ils comprennent les logiques, les limites et les différences fondamentales de l'IA ? Nous proposerons une analyse croisée qui porte sur trois éléments essentiels : 1) L'analyse des écarts structurels entre les processus d'apprentissage humain en mathématiques et artificiel, tels qu'ils se manifestent dans les outils actuels, 2) L'étude des points de convergence potentiels, 3) Les enjeux épistémologiques et éthiques : Quelle conception de l'intelligence mathématique (raisonnement, preuve, créativité) est véhiculée implicitement par les systèmes d'IA ? Quel est le risque d'une transposition didactique algorithmique qui appauvrirait les concepts à enseigner ? En articulant les apports de la didactique des mathématiques, des sciences cognitives et de l'intelligence artificielle, cette réflexion vise à éclairer les possibilités d'une intégration critique et raisonnée des technologies d'IA dans l'éducation scientifique, tout en repensant la nature même de l'acte d'apprendre dans un monde où l'intelligence artificielle devient un interlocuteur pédagogique potentiel.

Mots-clés : modèles computationnels, apprentissage humain, enjeux éthiques

Modeling learning: A bridge between human and artificial intelligence to rethink mathematics education

Learning constitutes a shared foundation between human and artificial intelligence. However, the dynamics of each differ fundamentally: humans learn through action, within rich social and contextual environments, drawing on intuition and creativity; AI learns through computational optimization over large datasets. The modeling of learning processes—whether mathematical, cognitive, didactic, or computational—thus becomes a privileged ground for comparing, linking, and questioning these distinct forms of intelligence. In this conference, we explore how learning models can serve as both conceptual and practical bridges between AI and human cognition, with a focus on their implications for the teaching and learning of mathematics. We pursue a dual objective: **a) Improving mathematics education:** How can computational models benefit from insights in didactics to better support human learning? Conversely, how do the limitations of AI shed light on the specificities of human intelligence? **b) Fostering critical AI literacy:** How can educators and learners be equipped to understand the logic, limitations, and fundamental differences of AI systems?

We propose a cross-disciplinary analysis centered on three key aspects:

1. Structural divergences between human and artificial learning processes in mathematics, as reflected in current AI tools;
2. Potential points of convergence;
3. Epistemological and ethical challenges: What conception of mathematical intelligence (reasoning, proof, creativity) is implicitly embedded in AI systems? What are the risks of an algorithmic didactic transposition that could reduce the richness of mathematical concepts to be taught?

By drawing on insights from mathematics didactics, cognitive science, and artificial intelligence, this reflection aims to illuminate the possibilities for a critical and informed integration of AI technologies in scientific education—while rethinking the very nature of learning in a world where AI is becoming a potential pedagogical interlocutor.

Keywords: computational models, human learning, ethical issues



COGMATHIA2025



Table ronde

Apprentissages humains et artificiels : Apports croisés des sciences cognitives, des mathématiques appliquées et de la didactique des mathématiques pour penser les interactions entre cognition humaine et cognition artificielle

Chair de la table ronde

Sonia Ben Nejma, Université de Carthage

Panélistes (par ordre alphabétique)

Ghazi Chakroun, Université de Sfax

Benoît Delahaye, Université de Nantes

Fabien Emprin, Université de Reims

Bassem Hamed, Université de Sfax

Guillaume Jouve, Université de Lille

Faten Khalloufi, Université de Carthage

Mohamed Ould Elhassen, Université de Carthage



COGMATHIA2025



Communications

GT 1 - Modélisation de l'apprentissage humain - approches cognitives et mathématiques

→ Expérimentation sur l'enseignement de la programmation orientée objet via les SLWE, Klouz A. et al., Université de Carthage

GT 2 - Cognition humaine et IA - inspirations, transferts et limites

→ De la modélisation mathématique aux simulations biomédicales, Awadi R. et al., Université de Tunis el Manar

GT3 - Enjeux éthiques et impacts sociétaux des modèles d'apprentissage

→ Enjeux de la responsabilité sociétale des universités : équité, diversité, intégrité et modélisation de l'apprentissage à l'ère de l'IA, Langar S. et al., Université de Manouba

Expérimentation sur l'enseignement de la Programmation Orientée Objet via les SLWE dans le cycle préparatoire en Tunisie

Ajda Klouz¹, Rahim Kouki²

¹ Université de Carthage, Institut préparatoire aux études d'ingénieurs de Bizerte,
ajda.klouz@ipeib.ucar.tn

² Université de Carthage, Institut supérieur des cadres de l'enfance, Carthage Dermech.
rahim.kouki@ipeiem.utm.tn

Résumé

L'apprentissage de la programmation orientée objet (POO) en Python dans le cycle préparatoire aux études d'ingénieurs en Tunisie présente des difficultés majeures. Ces difficultés sont notamment liées au changement de paradigme (Linard, 2002) et à la charge cognitive conséquente (Puma, 2016). Ce travail propose l'utilisation des exemples résolus avec objectifs étiquetés (Subgoal Labeled Worked Examples - SLWE) comme outil didactique pour faciliter la transposition didactique des concepts de la POO (Klouz et Kouki, 2023). Nous avons mené une étude praxéologique du programme de la matière informatique, une enquête auprès de 18 enseignants et une étude statistique auprès des étudiants de l'IPEIB ont été menés. Les résultats montrent que les SLWE améliorent significativement l'assimilation des concepts de la POO. L'étude suggère également d'adapter les stratégies d'enseignement et d'augmenter le temps didactique consacré à la POO dans ce contexte.

Mots clés

Modélisation de l'apprentissage, Théorie de la charge cognitive, Théorie anthropologique du didactique, Programmation orientée objet, Didactique expérimentale.

I. Introduction

1. Problématique

La programmation orientée objet (POO) est un paradigme clé dans la formation en programmation. Cependant, son enseignement dans le cycle préparatoire aux études d'ingénieurs en Tunisie reste problématique en raison des difficultés d'assimilation des concepts tels que l'abstraction, l'héritage et le polymorphisme (Haddad et Kouki, 2023). Le programme officiel de 2016 a introduit la POO en Python au niveau de la 2^{ème} année du cycle préparatoire, allouant un temps didactique de huit heures. Cette charge horaire a été jugée insuffisante par la majorité des enseignants d'après une enquête effectuée par Mezienne. M (Mezienne et Kouki, 2023). Notre recherche vise à tester l'apport des SLWE, outil didactique basé sur l'apprentissage explicite, afin de faciliter l'apprentissage de la POO dans ce contexte spécifique.

2. Cadres théoriques

Cette étude s'appuie sur deux cadres théoriques principaux. La théorie anthropologique du didactique (TAD) de Chevallard. Y (Chevallard, 1991) permet d'analyser les praxéologies institutionnelles et la transposition didactique des savoirs. La théorie de la charge cognitive (TCCog) de Sweller, J (Sweller, 1988) explique les effets de la complexité cognitive sur l'apprentissage et justifie l'usage d'exemples résolus avec objectifs étiquetés pour réduire la surcharge cognitive. Les SLWE sont un outil didactique structurant la résolution de problèmes en sous-objectifs à l'aide d'exemples

découpés en étapes et annotées par des commentaires explicatifs (Margulieux et al., 2013; Goletti et al., 2022). Ces deux cadres se complètent pour mieux cibler les difficultés d'assimilation en POO.

II. Méthodologie

Dans un souci de rigueur scientifique, nous avons décidé d'étudier toutes les facettes et tous les intervenants dans notre expérimentation. Pour se faire, nous avons établis cinq étapes :

1. Étude praxéologique du programme de la deuxième année du cycle préparatoire

Dans cette première étape de notre expérimentation nous faisons intervenir l'approche praxéologique de la TAD. Cette approche nous permet d'analyser toutes les praxéologies mentionnées dans le programme officiel (Kouki, 2017) et les concepts de la POO qui y sont directement reliés. Chevallard décrit l'approche praxéologique comme une action composée d'une tâche t d'un certain type T , au moyen d'une technique τ , justifiée par une technologie θ qui permet de la penser, voire de la produire, et qui à son tour est justifiable par une théorie Θ (Chevallard, 1997). Le quadruplet ainsi obtenu est noté $[T/\tau/\theta/\Theta]$ et porte le nom de : « Organisation didactique ou mathématique ». Nous pouvons dire que l'approche praxéologique est une approche de recherche qui se concentre sur l'analyse des pratiques sociales dans leur contexte spécifique, en mettant l'accent sur l'action consciente des individus dans leur environnement.

Le tableau 1 détaille deux organisations didactiques de deux types de tâches que l'enseignant doit transposer en classe.

Tableau 1 : Exemples de deux organisations praxéologiques du chapitre POO

Types de tâches (T)	Technique (τ)	Technologie (θ)	Théorie (Θ)
T1 : Créer une classe mère	class nom_classe (object) :	Création d'une classe sans héritage	Concept de « Classe », POO
	class nom_classe () :		
	class nom_classe :		
T2 : Définir le constructeur de la classe	def __init__(self,.....) :	Définition d'une méthode	Programmation procédurale en Python

Cette étape justifiera le choix des SLWE qui seront utilisés lors de l'expérimentation. En effet ils devront prendre en compte toutes les praxéologies présentes dans le programme officiel dégagées lors de cette première étape.

2. Questionnaire destiné aux enseignants d'informatique du cycle préparatoire

Dans une deuxième étape nous avons élaboré un questionnaire destiné aux enseignants d'informatique des instituts préparatoires aux études d'ingénieurs. Ce questionnaire vise à connaître les avis des enseignants par rapport au contenu du module POO et de la charge allouée et de mettre l'accent sur les éventuelles difficultés rencontrées lors de la transposition didactique des différents

concepts de la POO. Cette enquête s'est révélée fort intéressante pour justifier le reste du protocole et fournir des inputs pour l'expérimentation :

- Certains concepts de la POO tel que « Abstraction », « Héritage », « Encapsulation » et « Polymorphisme » sont plus difficilement assimilables que le reste des concepts : « Classe », et « Objet » d'après les enseignants.
- 66.7 % des enseignants jugent que les 8h prévues semblent être « très peu suffisantes » car il s'agit de nouveaux concepts et d'un nouveau paradigme à adopter.
- La plupart des enseignants (72.2%) adoptent délibérément les exemples corrigés avec étiquetage des étapes (SLWE) sans savoir pour autant qu'il s'agit d'un outil didactique à part entière. Les SLWE semblent faire partie de la stratégie d'enseignement adoptée par les enseignants et ce choix se fait de façon spontanée puisque 77.8% des enseignants ne connaissent pas cet outil.

L'introduction de nouveaux concepts, le changement de paradigme ainsi qu'une charge horaire jugée « très peu suffisante » font que l'enseignement de la POO nécessite l'adoption de stratégie didactique réfléchies pour faciliter le processus de transposition didactique.

Toutes ces raisons nous confortent dans le choix des SLWE comme outil didactique sujet de notre investigation expérimentale. Néanmoins, les enseignants émettent certaines conditions pour garantir une éventuelle efficacité des SLWE. Les conditions les plus récurrentes sont : le choix convenable et réfléchis des exemples qui seront proposés et l'utilisation de cet outil précisément lors de la partie introductive du cours.

L'expérimentation a été réalisée à l'Institut Préparatoire aux Études d'Ingénieurs de Bizerte (IPEIB) sur un échantillon de 128 étudiants répartis sur deux sections : Mathématiques/Physique (MP) et Physique/Chimie (PC). L'échantillon a été divisé en deux groupes :

- Groupe expérimental (65 étudiants) : Enseigné avec les SLWE incorporés lors de l'introduction des concepts de la POO.
- Groupe témoin (63 étudiants) : Enseigné selon une méthode classique sans SLWE.

3. Pré-test

Un pré-test a été administré avant l'expérimentation pour évaluer les prérequis et vérifier l'homogénéité des groupes. Le test portait principalement sur la syntaxe et les notions basiques de la POO déjà vues implicitement en première année, couvrant les concepts d'objet, classe et encapsulation qui sont les seuls concepts étudiés lors de la première année.

Ci-dessous, le tableau 2 récapitule les résultats trouvés lors du pré-test.

Tableau 2 : Résultats du pré-test

Groupe	Effectif	Moyenne des scores au pré-test : X	Écart-type : σ	Indice de dispersion : $(\sigma / X) * 100$
Expérimental	65	13,11	2,41	0.18
Témoin	63	13,31	1,92	0.14

Notons que l'homogénéité a été confirmée pour les deux groupes (témoin et expérimental) avant intervention à la suite du test de Levene qui a donné comme valeur 0.148 (> 0.05).

4. Expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée en quatre séances de 2 heures chacune, respectant le temps didactique officiel (8 heures) pour le chapitre POO. À chaque début de séance, les étudiants du groupe expérimental recevaient l'énoncé d'un exercice accompagné par son SLWE, c'est-à-dire une solution décomposée en étapes, annotée par l'objectif pédagogique spécifique à chaque étape, permettant un apprentissage structuré comme le montre la figure 1.

Ex1 : On désire créer une forme géométrique. Pour ceci nous utilisons le concept de « classe » défini par la programmation orientée objet. Une forme géométrique est caractérisée par un nom et un nombre de côtés.

- a. Déclarer la classe « **formegeometrique** » qui comporte :
- b. Un constructeur permettant d'instancier des objets de type « **formegeometrique** », ayant l'attribut « nom » dont la valeur est entrée en paramètre
- c. Une méthode classique « **Affichage_nom** » qui permet de retourner le nom de la forme géométrique

Solution :

a

```
class formegeometrique( ):
```

*#a1- Déclarer une classe mère avec le mot standard **class** suivi du nom de la classe (sans paramètres).*
Ici, on parle des formes géométriques en général, on dit qu'on fait de l'abstraction

b

```
def __init__(self,n):
```

#b1- Entête du constructeur de la classe: fonction obligatoire dans toute classe c'est le générateur des objets.
*Toutes les fonctions de la classe prennent obligatoirement comme premier paramètre **self** qui est un objet virtuel*

```
self.nom=n
```

#b2- notre objet est caractérisé par un seul attribut qui est le nom :

c

```
def Affichage_nom(self):
```

#c1- Entête de la méthode simple de la classe, le premier paramètre est forcément self : l'objet virtuel

```
return self.nom
```

#c2- Retourner le nom de l'objet virtuel self

Figure 1 : Exemple résolu avec objectifs étiquetés utilisé lors de l'expérimentation

5. Post-test et résultats

À la fin de l'expérimentation, un post-test composé de 20 questions (QCM et questions ouvertes) a été passé pour évaluer la maîtrise des concepts clés de la POO : Objet, Classe, Abstraction, Héritage, Polymorphisme et Encapsulation. Les résultats sont récapitulés au niveau du tableau 3.

Tableau 3 : Résultats du post-test

Groupe	Effectif	Moyenne totale du post-test X	Écart-type σ	Indice de dispersion $(\sigma / X) * 100$
Expérimental	61	16,16	1,61	9.90
Témoin	51	14,33	1,73	12.07

Le tableau 3 montre une amélioration statistiquement significative des performances du groupe expérimental par rapport au groupe témoin (Test de Mann-Whitney, $p < 0,001$).

Les étudiants ayant bénéficié des SLWE ont obtenu de meilleures moyennes sur tous les concepts, avec un écart plus marqué sur les concepts : Classe et Objet.

III. Conclusion

L'introduction de nouveaux concepts et le changement de paradigme ainsi qu'une charge horaire jugée « très peu suffisante » font que l'enseignement de la POO nécessite l'adoption de stratégie didactique réfléchies pour faciliter le processus de transposition didactique.

L'expérimentation réalisée montre clairement que l'intégration des SLWE dans l'enseignement introductif de la Programmation Orientée Objet (POO) en Python permet une amélioration significative de l'acquisition des concepts clés par les étudiants. Cette amélioration est particulièrement notable pour les notions qui sont habituellement considérées comme difficiles à assimiler, telles que l'encapsulation, l'héritage ou le polymorphisme. Par ailleurs, cette méthode innovante respecte parfaitement le temps didactique officiel, ce qui garantit qu'elle peut s'intégrer sans perturber le déroulement des programmes universitaires. Cela rend les SLWE non seulement efficaces pédagogiquement, mais aussi pragmatiques et adaptables aux contraintes institutionnelles.

Les résultats ainsi obtenus soulignent ainsi l'intérêt majeur des SLWE pour la transposition didactique de la POO au niveau du cycle préparatoire. En s'appuyant sur des approches théoriques solides, notamment la théorie de la charge cognitive et la théorie anthropologique du didactique, qui analysent l'enseignement en fonction des pratiques sociales et culturelles, l'usage des SLWE semble particulièrement pertinent. Cet outil favorise une meilleure gestion des ressources cognitives des apprenants en proposant des activités adaptées, progressives et contextualisées, ce qui facilite la construction des savoirs.

Références :

Chevallard, Y. (1991). Concepts fondamentaux de la didactique : Perspectives apportées par une approche anthropologique. *Publications mathématiques et informatique de Rennes*, (S6), 160–163.

Chevallard, Y. (1997). Familère et problématique, la figure du professeur. *Recherches en didactique des mathématiques*, 17, 17-54.

Goletti, O., De Pierpont, F., & Mens, K. (2022, May). Création d'exemples résolus avec objectifs étiquetés pour l'apprentissage de la programmation avec Python. In *L'informatique, objets d'enseignement et d'apprentissage. Quelles nouvelles perspectives pour la recherche ?*

Haddad, M. & Kouki, R. (2023). État des lieux de l'enseignement et l'apprentissage de la programmation orientée objet dans le contexte universitaire tunisien. *RASEF*, 87-96.

Klouz, A. & Kouki, R. (2023). Enseignement introductif de la Programmation Orientée Objet sous Python via les exemples résolus avec objectifs étiquetés : Cas des instituts préparatoires aux études d'ingénieurs tunisiens. *RASEF*, 246-258.

Kouki, R. (2017). *Recherches sur l'articulation des dimensions sémantique, syntaxique, sémiotique, praxéologique et épistémologique dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques : Étude de cas : algèbre du secondaire et développements limités au début de l'université* (Note de synthèse pour l'habilitation à Diriger des Recherches). Université de Tunis El Manar.

Linard, M. (2002). Conception de dispositifs et changement de paradigme en formation. *Éducation Permanente*, (152), 143–155.

Margulieux, L., Catrambone, R., & Guzdial, M. (2013). Subgoal labeled worked examples improve K-12 teacher performance in computer programming training. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (Vol. 35, No. 35).

Mezienne, M., & Kouki, R. (2023). Ébauche d'ingénierie de développement de situation d'enseignement des concepts de la POO via l'approche par emboîtement. *RMEMST 1 (MJMSTE 1)*, 129-144. Éditions ATDM : Tunisie.

Puma, S. (2016). *Optimisation des apprentissages : Modèles et mesures de la charge cognitive* (Thèse de doctorat, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II).

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.

De la modélisation mathématique aux simulations biomédicales

Rania AWADI¹, Narjes Benameur¹, Salam Labidi¹

¹Laboratoire de biophysique et technologies médicales, université de Tunis El Manar , Institut Supérieur des technologies médicales de Tunis ,Tunisie

Résumé

Les maladies cardiovasculaires, notamment l'infarctus du myocarde, entraînent un remodelage structurel et fonctionnel du ventricule gauche. L'imagerie par résonance magnétique permet d'observer ces altérations, mais n'évalue pas directement les propriétés mécaniques du myocarde. Cette étude combine reconstruction 3D du ventricule et modélisation mécanique pour estimer des paramètres spécifiques des sujets. Un algorithme hybride de cartographie fibrillaire assure des orientations de fibres réalistes, fidèles aux données histologiques. Les résultats offrent une évaluation personnalisée du remodelage post-infarctus et ouvrent la voie à une meilleure planification thérapeutique.

Mots clés : Ventricule gauche, modélisation, simulation, algorithme

Introduction

Les maladies cardiovasculaires représentent la première cause de mortalité dans le monde et constituent un enjeu majeur de santé publique [1]. Parmi ces affections, l'infarctus du myocarde (IDM) est l'une des plus fréquentes et entraîne des remaniements structurels et fonctionnels du muscle cardiaque, connus sous le nom de remodelage myocardique. Ces altérations peuvent conduire à une insuffisance cardiaque sévère, rendant essentielle une évaluation précoce et précise de l'état mécanique du ventricule [2].

En pratique clinique, l'évaluation des pathologies cardiaques repose principalement sur des techniques d'imagerie telles que l'électrocardiogramme, la coronarographie ou l'imagerie par résonance magnétique (IRM) [3]. Bien que ces méthodes permettent de détecter des anomalies structurelles et fonctionnelles, elles ne fournissent pas directement d'informations sur les propriétés mécaniques du myocarde, notamment sa contractilité et sa rigidité, paramètres clés pour comprendre la progression du remodelage et prédire la réponse aux traitements [4].

Dans ce contexte, la modélisation biomécanique constitue un outil puissant pour combler cette lacune. Elle permet non seulement de reconstruire la géométrie ventriculaire et de générer des cartes d'orientation des fibres myocardiques, mais aussi d'estimer quantitativement les propriétés mécaniques du tissu cardiaque. L'orientation des fibres joue un rôle central dans ce processus, car elle conditionne l'anisotropie mécanique et électrique du myocarde.

L'estimation des paramètres biomécaniques joue un rôle central dans la modélisation du myocarde, car elle permet de caractériser sa contractilité et sa rigidité, deux propriétés essentielles pour comprendre le comportement mécanique du ventricule et évaluer le remodelage post-infarctus.

Cependant, l'obtention de valeurs précises pour ces paramètres demeure un défi majeur, en particulier à partir de données *in vivo*. Les approches classiques basées uniquement sur l'imagerie ne permettent pas de quantifier directement ces propriétés. Pour surmonter cette limitation, des méthodes combinant reconstruction géométrique 3D du ventricule et simulations biomécaniques par éléments finis ont été développées. Ces méthodes utilisent les informations structurelles et fonctionnelles disponibles pour calibrer des modèles capables de prédire de manière fiable la contractilité et la rigidité du tissu myocardique, offrant ainsi un outil puissant pour l'évaluation individuelle du remodelage cardiaque et pour la planification de traitements personnalisés.

Un aperçu des principales contributions de la recherche est présenté ci-dessous :

- **Reconstruction géométrique précise du ventricule gauche** à partir d'images IRM, minimisant les erreurs liées à l'épaisseur des coupes.
- **Développement d'un algorithme hybride pour la cartographie fibrillaire**, combinant Laplace–Dirichlet, croissance régionale et éléments finis, pour générer des orientations de fibres lisses et fidèles aux données histologiques.
- **Estimation des paramètres mécaniques du myocarde**, à partir de la géométrie et de la cartographie obtenues.

Matériel et méthodes

Modélisation du VG

Dans ce travail, nous nous focalisons sur le ventricule gauche (VG), cavité cardiaque qui peut être étudiée *in vivo* et de manière non invasive grâce à l'imagerie par résonance magnétique (IRM). Afin de construire une représentation tridimensionnelle précise, les contours endocardiques et épicaudiques du VG ont été segmentés aux phases télésystolique (TS) et Télédiastolique (TD) de manière semi-automatique à l'aide du logiciel CVI42 (© Circle Cardiovascular Imaging). Les contours segmentés sont exportés au format STL (stéréolithographie), décrivant la surface sous forme de maillage triangulé. Les surfaces endocardique et épicaudique du VG a ensuite été traité dans CATIA V5 (© Dassault Systèmes) afin de reconstruire les surfaces du VG. Une section transversale bidimensionnelle a été définie puis pivotée autour d'un axe central, permettant la création d'une géométrie 3D fidèle du VG (Figure 1). Enfin, cette géométrie a été exportée au format STEP et maillée en éléments hexaédriques dans le logiciel d'éléments finis ABAQUS (© Dassault Systèmes), comme illustré à la Figure 1.

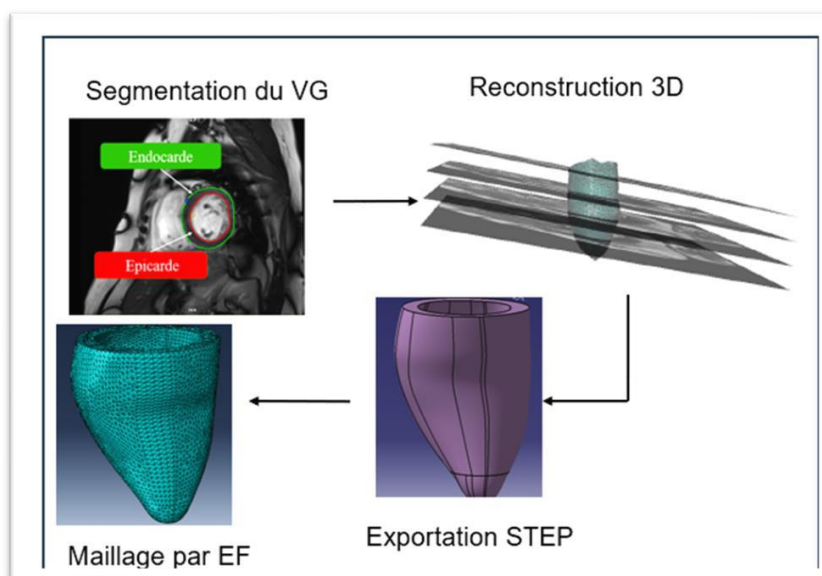


Figure 1: Géométrie du VG en télésystole

Orientation des fibres myocardiques

Nous avons appliqué une orientation des fibres basée sur des règles afin d'identifier les propriétés mécaniques du myocarde. Dans ce travail, la structure des fibres myocardiques a été attribuée à l'aide de l'algorithme basé sur des règles (LDRF). L'algorithme LDRF a développé en s'appuyant sur les méthodologies proposées par Palit et al. [5] et Wong et Kuhl [6]. Une avancée clé de cet algorithme est l'identification automatique de divers domaines de surface, améliorant la précision et l'efficacité du processus de modélisation. L'idée clé de notre algorithme d'orientation des fibres est de développer une interpolation fluide et sans coordonnées des orientations des fibres en utilisant des techniques issues de l'infographie, en particulier celles inspirées des méthodes d'interpolation basées sur les caractéristiques. L'équation de Laplace suivante est résolue pour la caractéristique à valeur scalaire φ , qui sert de base pour guider le processus d'interpolation et assurer une orientation cohérente et continue des fibres à travers le domaine :

$$\Delta\varphi = 0, \text{ en domaine } \Psi \quad (1.1)$$

Pour des conditions aux limites de Dirichlet données :

$$\varphi = \bar{\varphi}, \text{ en } \partial\Psi \quad (1.2)$$

La fonction à valeur scalaire φ , est régie par l'équation de Laplace $\Delta\varphi = 0$, qui assure une interpolation douce et linéaire dans le domaine cardiaque lorsque des conditions aux limites de Dirichlet sont imposées sur $\partial\Psi$. Pour résoudre cette équation aux dérivées partielles (EDP), nous avons utilisé une approche par EF. Dans cette étude, nous avons discrétisé le domaine Ψ à l'aide d'éléments tétraédriques à quatre nœuds. L'EDP a ensuite résolue sous les conditions aux limites de Dirichlet données définies sur $\partial\Psi$, avec φ étant la principale variable inconnue. Nous avons formulé l'algorithme LDRF à l'aide de trois fonctions distinctes, chacune acceptant trois entrées, comme expliqué ci-dessous.

Trois paramètres d'entrée sont nécessaires pour l'algorithme LDRF, comme suit :

- Une géométrie du VG (3D) avec un maillage en EF.
- Un nuage de points correspondant au plan parallèle au plan de coupe de l'image en axe court, situé juste en dessous de l'intersection basale-endocarde.
- La définition des angles des fibres basée sur les données histologiques. Nous avons supposé que les fibres sur l'épicarde du VG ($\partial\Psi_{epi}$) étaient inclinées avec $-\alpha_1$ et que les fibres sur l'endocarde du VG ($\partial\Psi_{endo}$) étaient inclinées avec $+\alpha_2$ par rapport à la direction circonférentielle locale du VG. Si l'on suppose que $\alpha_1 = \alpha_2 = 60^\circ$. Après, c'est l'implémentation de l'algorithme LDRF, il est implémenté dans Matlab (Matlab, R2018a, The MathWorks, USA).

Comportement des matériaux et conditions aux limites

Nous avons utilisé, un modèle constitutif hyperélastique transversalement isotropique qui a été proposé par Fung et al. [94] proposé à la base par Guccione et al. [7]. La loi de Fung est composée de quatre paramètres, $\mathbf{C}_0$, $\mathbf{b}_f$, $\mathbf{b}_t$ et $\mathbf{b}_{ft}$ qui décrivent le degré de non-linéarité et d'anisotropie. La densité d'énergie de déformation $\Psi(E)$.

$$\Psi(E) = \frac{C_0}{2}(e^Q - 1) \quad (1.3)$$

Où $\mathbf{C}_0$ est le paramètre linéaire passif, Q est la fonction quadratique des trois composantes principales de la déformation, $\mathbf{b}_f$ et $\mathbf{b}_t$ représentent la rigidité au niveau de la fibre myocardique locale et dans la direction transversale, respectivement, et $\mathbf{b}_{ft}$ est la rigidité de cisaillement. Les coefficients de l'équation (1.3) ont été reproduits par Gerardo et al.[4] où $\mathbf{C}_0$ a été fixé à 0.08 kPa et $\mathbf{b}_f$, $\mathbf{b}_t$ et $\mathbf{b}_{ft}$ ont été fixés à 16.15, 6.46 et 11.31, respectivement.

La surface épicaudique a été soumise à des conditions limites homogènes de Neumann (imposent que la dérivée normale est nulle, donc aucune variation dans cette surface), tandis que la surface de l'endocarde a été soumise à une pression du VG uniforme. La ligne basale a été fixée pour tenir compte de la rigidité nettement plus élevée de l'anneau par rapport au myocarde.

Identification des paramètres biomécaniques

Le nombre de paramètres passifs à identifier est réduit à deux : $\mathbf{C}_0$ et $\mathbf{b}_f$. Ces paramètres passifs ont été identifiés en minimisant l'écart par rapport à la courbe de (RPVTD), telle que prédite par Klotz et al. [151]. L'algorithme d'optimisation de Nelder-Mead, disponible dans Matlab (MathWorks), a été utilisé. Il s'agit d'un processus d'optimisation en deux boucles, inspiré de l'approche de Genet et al.[8]. La boucle externe s'est concentrée sur l'optimisation de $\mathbf{b}_f$ en minimisant l'écart par rapport à la courbe de Klotz, qui représente la (RPVTD) standard. À chaque itération de cette boucle externe, une boucle interne était exécutée pour ajuster $\mathbf{C}_0$ pour le $\mathbf{b}_f$ donné.

Résultats et discussion

La méthode de modélisation a été appliquée à 5 sujets humains sains. L'orientation des fibres myocardiques est présentée à la Figure 2. Le Tableau 1 rapporte, pour chaque sujet ainsi que pour la moyenne et l'écart-type, les volumes (TS) et (TD) obtenus par IRM, ainsi que les fractions d'éjection correspondantes. Les valeurs moyennes des volumes (TS) et (TD) et la fractions d'éjection restent dans une plage normale pour des sujets adultes. La faible variabilité observée entre les sujets démontre la cohérence et la fiabilité de la procédure.

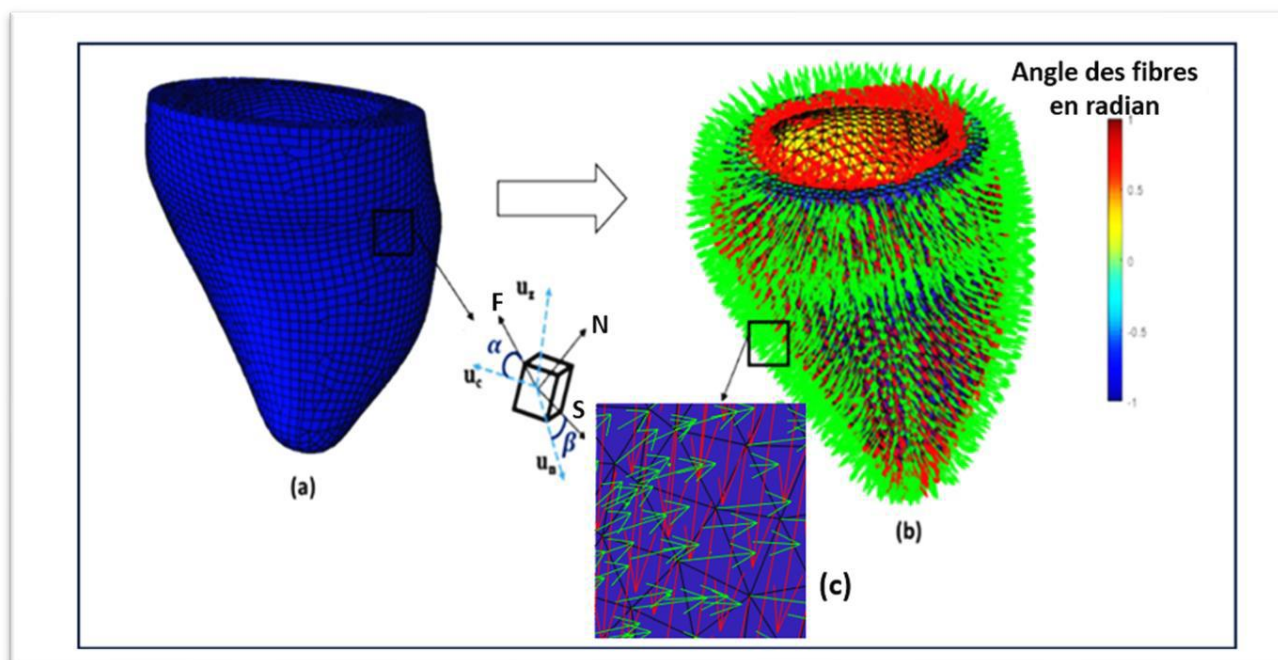


Figure 2: Illustration de l'orientation des fibres myocardiques

Tableau 1 : Volumes télédiastolique et télésystolique mesurés par IRM, ainsi que la fraction d'éjection correspondante, pour les cinq sujets sains

Sujets	#1	#2	#3	#4	#5	Moyenne	Écart type
Volume TS (ml)	24	34	56	36	56	41.2	14.25
Volume TD (ml)	59	73	105	82	64	76.6	18.15
Fraction d'éjection (%)	53	55	60	58	54	56.0	2.92

Tableau 2 : les paramètres mécaniques passifs du myocarde identifiés pour chaque sujet

Sujets	#1	#2	#3	#4	#5	Moyenne	Écart type
C_0 (KPa)	0.123	0.095	0.103	0.074	0.106	0.100	0.018
b_f	10.72	14.67	14.50	17.08	14.19	14.23	2.28
b_t	4.29	5.87	5.80	6.83	5.68	5.69	0.91
b_{ft}	7.51	10.27	10.15	11.96	9.93	9.96	1.59

Le Tableau 2 fournit les paramètres mécaniques passifs du myocarde identifiés pour chaque sujet, avec leurs valeurs moyennes et écarts-types. La variabilité entre ces cinq sujets normaux est assez faible.

Conclusion

Ce travail met en évidence l'importance d'une approche intégrée combinant imagerie médicale et modélisation biomécanique pour évaluer de manière précise le remodelage myocardique post-

infarctus. La reconstruction géométrique fine du ventricule gauche à partir d'IRM, associée à la cartographie rigoureuse des fibres myocardiques, permet de reproduire fidèlement l'anatomie et l'orientation fibrillaire du tissu cardiaque. L'estimation des paramètres mécaniques offre une vision quantitative et personnalisée du comportement mécanique du myocarde, dépassant les limites des méthodes d'imagerie classiques. Les perspectives futures incluent l'intégration de données fonctionnelles dynamiques et le développement de modèles prédictifs capables d'anticiper l'évolution de la fonction ventriculaire, ouvrant la voie à une médecine cardiovasculaire plus personnalisée et préventive.

Références

- [1] Journal des femmes Santé. (2023). « *Coeur : Anatomie, rôle, opération, maladies cardiovasculaires* ».
- [2] J.W. Holmes, T.K. Borg, J.W. Covell . (2005)« *Structure and mechanics of healing myocardial infarcts* ». Annual Review of Biomedical Engineering, 7, p. 223-253.
- [3] Garza, M. A., Wason, E. A., & Zhang, J. Q. (2023). Cardiac remodeling and physical training post myocardial infarction. *World Journal of Cardiology*, 7(2), 52–64.
<https://dx.doi.org/10.4330/wjc.v7.i2.52>
- [4] Rumindo, G. K., Ohayon, J., Croisille, P., & Clarysse, P. (2020). In vivo estimation of normal left ventricular stiffness and contractility based on routine cine MR acquisition. *Medical Engineering & Physics*, 85, 16–26.
- [5] Palit, A., Bhudia, S. K., Arvanitis, T. N., Turley, G. A., & Williams, M. A. (2015). Computational modelling of left-ventricular diastolic mechanics: Effect of fibre orientation and right-ventricle topology. *Journal of Biomechanics* 48(4), 604–612.
- [6] Wong, J., & Kuhl, E. (2014). Generating fibre orientation maps in human heart models using Poisson interpolation. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 17(11), 1217–1226.
- [7] Guccione, J. M., Costa, K. D., & McCulloch, A. D. (1995). Finite element stress analysis of left ventricular mechanics in the beating dog heart. *Journal of Biomechanics*, 28(10), 1167–1177.

enjeux de la responsabilité sociétale des universités : équité, diversité, intégrité et modélisation de l'apprentissage à l'ère de l'intelligence artificielle et des sciences cognitives

Dr. Saloua Langar, enseignante à l'Institut Supérieur de Comptabilité et d'Administration des Entreprises (ISCAE) Manouba, Tunisie, email : saloualanger2020@gmail.com

Dr. Amira Berrahal, enseignante à l'Institut Supérieur de Comptabilité et d'Administration des Entreprises (ISCAE) Manouba, Tunisie, email: amira.berrahal8@gmail.com

Résumé

Cet article a l'ambition de savoir comment les universités, actrices engagées au sein du système universitaire, adoptent l'Intelligence Artificielle (IA) en respectant les valeurs humanistes de l'équité, de la diversité et de l'intégrité (EDI) considérées comme des critères mesurables influençant leur performance et leur réputation, et ceci à partir d'une étude du cas concernant l'implémentation de l'IA dans une université privée tunisienne en l'occurrence l'université centrale de Tunisie (UTC), à travers une analyse thématique fondée sur une entrevue diffusée sur YouTube, témoignant de la position de la directrice générale du réseau "Honoris United Universities" sur l'intégration de l'IA dans la pédagogie universitaire.

Mots-clés : *Modélisation de l'apprentissage, IA, Cognition humaine, RSU, EDI.*

Introduction

Il est indéniable que les universités en adhérant aux valeurs de la RSU jouent un rôle substantiel dans la formation des futurs acteurs sociaux. La RSU a été abordée par plusieurs théories mais celle qui nous intéresse est celle du réseau-acteur pour appréhender l'introduction de l'IA et des sciences cognitives dans le domaine éducatif en offrant des parcours d'apprentissage personnalisés répondant au mieux aux attentes des étudiants. Néanmoins, cette intégration en remettant en question le rôle classique des universités par

cette dynamique techno-scientifique est sujette à des risques affectant les valeurs humanistes de la RSU. Cet article s'interroge sur la manière dont les concepts de l'EDI sont perçus dans le groupe "Honoris United Universities" qui a intégré récemment des programmes d'IA dans son cursus. Aussi, nous tentons de comprendre comment les universités en tant qu'acteurs majeurs du changement peuvent impacter les questions sociétales tout en étant en mesure de respecter les valeurs humanistes de l'EDI. En effet, l'équité, la diversité et l'intégrité sont des critères mesurables par le biais de la productivité équitable représentant un cadre d'évaluation englobant à la fois des dimensions financières, sociales et technologiques notamment dans le cas d'un recours à l'IA. Dans ce sens, les indicateurs de performance KPIs, l'analyse d'appétence aux risques technologiques et du retour sur investissement constituent des outils stratégiques pour piloter cette transformation numérique que nous tentons de relever au niveau de l'entrevue de la directrice générale du réseau de "Honoris United Universities." Les hypothèses à valider dans la partie empirique sont :

H1 : L'intégration de l'IA dans les programmes universitaires en optimisant l'individualisation de l'éducation risque d'accentuer les disparités en matière d'accès à cause des différences d'ordre technologique et socio-économique.

H2 : Les systèmes d'apprentissage basés sur l'IA pourraient générer des biais algorithmiques, compromettant l'intégrité académique et l'équité des parcours éducatifs.

H3 : La RSU est renforcée quand elle intègre spécifiquement dans ses formations des modules consacrés à l'éthique de l'IA, à la gestion des biais et à la valorisation de la diversité.

Approches théoriques

Responsabilité Sociétale des Universités (RSU)

La RSU constitue une adaptation spécifique de la responsabilité sociétale des organisations (RSO), en adéquation avec les objectifs sociétaux de l'université. Pour Freeman (1984, p.25), la RSU requiert une gouvernance impliquant la participation de toutes les parties prenantes. Etzkowitz & Leydesdorff (2000, p.111), par le biais du modèle de la triple hélice,

soutiennent l'idée que l'université opère comme un point de relais entre la société, le secteur économique et le domaine de la recherche. Les questions d'accès équitable par l'intégration de l'IA aux ressources numériques, de transparence et de respect des données personnelles deviennent de plus en plus cruciales de nos jours. L'adhésion des universités aux principes de la RSU s'avère nécessaire en vue de s'aligner sur les objectifs de développement durable, notamment l'ODD 4. Aussi, il est essentiel de maintenir l'intégrité académique, la durabilité et l'innovation responsable dans les programmes d'éducation et de recherche pour préserver les futures générations.

Équité, diversité et intégrité dans l'enseignement supérieur : des dimensions interdépendantes

L'équité socio-économique en matière d'accès à l'éducation se distingue de l'équité dans le traitement et l'équité en termes d'accomplissement. Par ailleurs, des déterminants individuels et institutionnels composent la diversité. De manière similaire, l'intégrité qui vise à créer une concordance entre la morale, la confiance et les défis numériques comme ChatGPT, se focalise principalement sur l'éthique de recherche, la clarté des décisions au sein des organisations et la lutte contre la fraude.

Modélisation de l'apprentissage : intelligence humaine et intelligence artificielle

Le développement de l'IA et son intégration dans les méthodes d'enseignement universitaire sont une préoccupation pour les parties prenantes reconfigurant les finalités mêmes de l'enseignement. Inscrivant son apport dans la théorie de l'acteur-réseau (Latour et al., 2006, p.71) selon laquelle « les objets ont une agency », l'IA se présente comme une technologie actante de transformation des pratiques de chacun dans le monde universitaire. La modélisation de l'apprentissage est à la croisée de plusieurs disciplines telles que la psychologie cognitive, les sciences de l'éducation, les neurosciences, l'IA et les mathématiques. En matière d'apprentissage par la recherche, les systèmes de tutorat intelligents constituent l'une des premières applications de l'IA en modélisation pédagogique dans l'enseignement supérieur, pour concevoir une reconfiguration des processus d'apprentissage à partir des informations générées par les réactions, les erreurs et les progrès

des étudiants, soulevant ainsi des enjeux éthiques, épistémologiques et pédagogiques. De ce fait, l'IA est-elle une révolution ou une simple évolution?

Cas empirique : L'Université Centrale de Tunis (UCT)

Présentation de l'UCT

Créée en 2001 et forte d'une expérience de plus de vingt ans d'expérience, l'UCT qui a rejoint le réseau panafricain "Honoris United Universities" en 2017, représente aujourd'hui la principale université privée en Tunisie qui offre des cursus universitaires multidisciplinaires. Avec plus de 8000 étudiants provenant d'au moins de 25 pays différents, l'interculturalité est favorisée au sein du réseau "Honoris United Universities".

Méthodologie empirique

Nous avons adopté dans notre recherche une méthode d'analyse thématique pour appréhender les représentations institutionnelles sur la RSU, l'innovation pédagogique et le déploiement de l'IA à l'UCT. Cette recherche présente la caractéristique d'être rassemblée autour d'un corpus qualitatif constitué principalement par l'entrevue publique (YouTube) de la directrice générale du réseau "Honoris United Universities", accordée pour la 7^e édition du Salon de l'emploi de l'UCT, qui s'est déroulée le 15 avril 2025, où elle a explicité les choix stratégiques rencontrés par l'université avec la transformation de la pédagogie sous l'effet des nouvelles technologies. Nous avons procédé à un traitement manuel en transcrivant l'entrevue dans son intégralité, puis en repérant les éléments majeurs en lien avec le cadre conceptuel, en repérant le discours, en appliquant un codage thématique puis en produisant une analyse réflexive des résultats.

Analyse des résultats et discussion

L'interviewée a souligné que " l'institution universitaire ne se limite pas à la délivrance de diplômes, mais soutient les étudiants dans la construction de leur futur grâce à l'intégration proactive de l'IA dans les cursus : formation au prompting pour améliorer l'efficacité, la précision et la créativité, tout en évitant les erreurs d'interprétation ou les utilisations inappropriées de l'IA, apprentissage adaptatif, ainsi que Najeh le tutor virtuel IA, déjà utilisé par des

milliers d'étudiants depuis 5 ans pour les aider dans leurs révisions et évaluations. " D'après l'interviewée, il est évident que le réseau "Honoris United Universities" met un accent fort sur l'innovation technologique, en se concentrant notamment sur la diversité. Une disparité thématique est mise en évidence entre l'application du numérique et l'incorporation des principes de la RSU. Aussi, il ressort une détermination manifeste vers la modernisation par le biais de l'innovation technologique. Nous avons pu dégager de l'entretien un tableau synoptique relatif au codage thématique :

Thème	Eléments abordés	Analyse
Modélisation de l'apprentissage et IA	IA dans les modules pédagogiques, tuteur intelligent, simulation médicale : mannequins haute fidélité, apprentissage adaptatif, plateforme lecturio	- Une orientation techno-pédagogique forte - Faire évoluer les méthodes d'enseignement - Continuité du transfert des connaissances - Mise en place d'une stratégie IA - De nouveaux profils et métiers : médecin ingénieur, data analyst
RSU	Partenariats, contribution au développement du pays, incubateurs, rôle social déterminant de l'université	La question de limitation des enjeux éthiques et environnementaux a été évoquée en vue d'éviter les conséquences négatives de l'IA
Equité	Accès équitable aux dispositifs IA	L'accessibilité réelle de ces innovations à l'ensemble des étudiants
Diversité	Empowerment, ouverture sur le continent africain, programme women	Diversité du genre et de la culture
Intégrité	Pas d'évocation sur la transparence des algorithmes	Thème non abordé : le non-dit autour des biais algorithmiques et des enjeux de transparence limite la réflexion sur une IA éthique, bien que la limitation des enjeux éthiques a été évoquée

Tableau 1 : Analyse des éléments abordés lors de l'interview au prisme des thèmes retenus

Source : Auteurs

Concernant les hypothèses émises, nous allons les confirmer ou infirmer à travers l'entrevue publique (YouTube) de l'interviewée.

H1 : un aspect qui a été partiellement validé ; cependant, le sujet des inégalités n'a pas été traité.

H2 : aucune référence aux biais algorithmiques n'a été évoquée.

H3 : aucun cadre éthique n'a été évoqué.

Conclusion

L'objectif de cette recherche, avec un apport beaucoup plus empirique que théorique, est d'analyser comment l'UCT répond aux exigences modernes de la RSU à l'aune de l'IA et des sciences cognitives. L'analyse thématique de l'entrevue avec l'interviewée du réseau "Honoris United Universities", a mis en évidence un discours axé sur l'innovation techno-pédagogique notamment avec le tutor IA Najeh, présenté comme un outil favorisant l'adaptation, l'employabilité et la révision des modes d'apprentissage. Toutefois, cette attitude positive vis-à-vis de la technologie crée des frictions latentes, particulièrement en termes de paradigmes liés à l'équité, à la diversité et à l'intégrité académique. Malgré les opportunités indéniables qu'offre l'IA, il est indispensable d'examiner de manière critique ses impacts potentiels sur l'inclusion numérique, l'écart technologique et les dynamiques éducatives. Cette étude, de nature exploratoire, présente diverses restrictions méthodologiques, notamment du fait qu'elle repose sur une seule entrevue. Aussi, nous n'avons pas pu dégager des indicateurs de mesure de performance à l'UCT.

Références bibliographiques

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation : From national systems and "Mode 2" to a triple helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4).

Freeman, R. E. (1984). *Strategic management : A stakeholder approach*. Pitman Publishing.

Latour, B. (2006). Le prince : machines et machinations. In M. Akrich, M. Callon, & B. Latour (Eds.), *Sociologie de la traduction. Textes fondateurs* (pp. 87–107). Presses des Mines de Paris.



COGMATHIA2025



Posters

GT 2 - Cognition humaine et IA - inspirations, transferts et limites

→ La Robotique en éducation STEM : Améliorer les compétences en mathématiques par l'apprentissage par projet, Raihane A. et al., Université Hassan I

GT3 - Enjeux éthiques et impacts sociétaux des modèles d'apprentissage

→ Apprendre avec ou contre les machines ? Enjeux éthiques des modèles d'apprentissage artificiel et humain, Zid, R. et al., Université de Tunis El Manar

La Robotique en Éducation STEM : Améliorer les Compétences en Mathématiques par l'Apprentissage par Projet

A.RAIHANE¹, M.ELHAROUSSI¹, S.ABOUHANIFA², M.NHIRY³

¹Laboratoire de MISI, université Hassan I, faculté des sciences et techniques, SETTAT, Maroc

²CRMEF CS, Settata, Maroc

³Laboratoire de IR2M, université Hassan I, faculté des sciences et techniques, SETTAT, Maroc

1. Introduction et Contexte

Au cours des dernières décennies, l'intérêt pour l'acquisition des compétences exigées par la société du XXI^e siècle s'est considérablement accru. L'enseignement des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STEM) est l'un des moyens les plus répandus pour préparer les élèves aux futures sociétés technologiques. Les élèves naissent avec un désir inné de bricoler et une curiosité naturelle, offrant de riches opportunités pour des activités STEM engageantes. La robotique éducative (RE), en tant que partie intégrante de l'enseignement STEM, intègre un large éventail de connaissances et permet de traduire des disciplines spécifiques dans un contexte plus complet.

Objectif de l'étude : Évaluer de manière quantitative l'impact de l'apprentissage par projet (APP) avec la robotique sur le développement des compétences en résolution de problèmes mathématiques chez des élèves, en comparant cette approche à une méthode d'enseignement traditionnelle.

Mots-Clés

- STEM
- Robotique éducative
- Apprentissage par projets
- Interdisciplinarité
- Mathématiques



Robot Éducatif 'Thymio'

2. Matériel et Méthodes

Cette étude a adopté une méthodologie quasi-expérimentale avec un design de pré-test et post-test pour évaluer l'impact d'une intervention pédagogique spécifique. L'expérience a été menée dans un collège au Maroc.

Participants et Groupes

Deux groupes homogènes d'élèves de 3^eme année du collège ont été constitués :

- Groupe Expérimental :** A suivi un enseignement basé sur l'apprentissage par projet, utilisant la programmation de robots.
- Groupe de Contrôle :** A suivi un apprentissage traditionnel basé sur des cours magistraux et des exercices théoriques.

Matériel Pédagogique

L'intervention a utilisé le robot éducatif open-source 'Thymio'. Ce robot est équipé de multiples capteurs (proximité, sol, etc.), d'actionneurs (moteurs, LEDs) et d'une interface de programmation visuelle, le rendant idéal pour des projets éducatifs concrets.

Le Projet : Défi du Drapeau

Le groupe expérimental devait programmer le robot Thymio pour lui faire dessiner le drapeau marocain. Ce défi a nécessité l'application intégrée de concepts mathématiques (géométrie), informatiques (algorithmique) et mécaniques.

3. Résultats et Analyse Statistique

Les compétences des élèves ont été évaluées sur la base d'une grille d'évaluation détaillée, et les scores ont été convertis en pourcentages. L'analyse comparative des pré-tests et post-tests a permis de déterminer l'effet de l'intervention. Le test de Wilcoxon a été utilisé pour comparer les moyennes des scores.

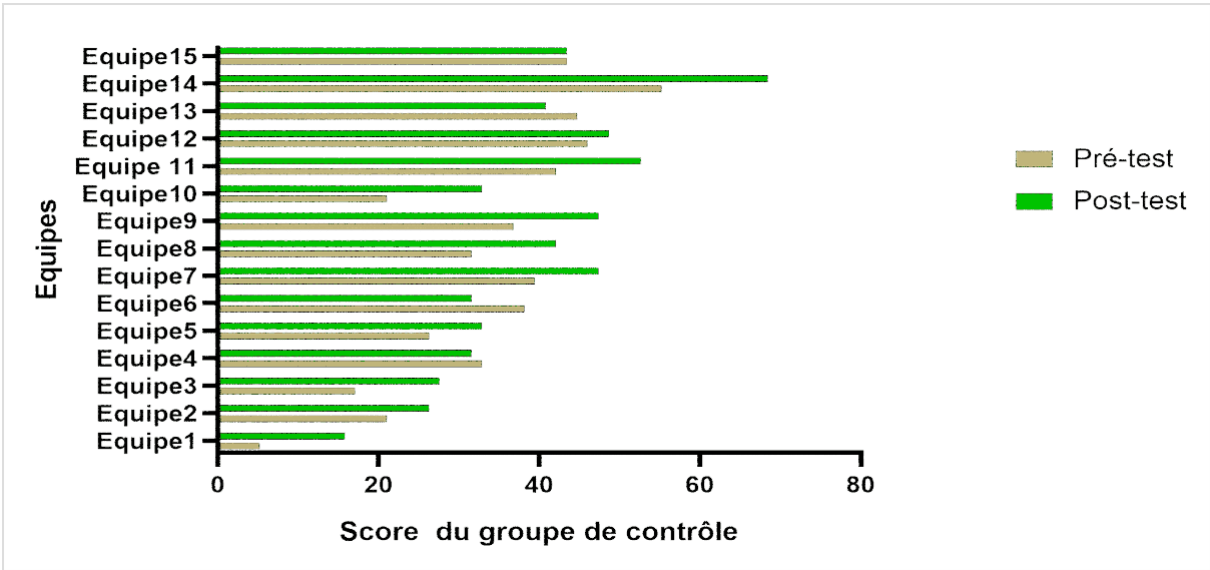


Figure 2. Évolution des scores du groupe de contrôle. Une amélioration modeste est observée entre le pré-test (33.42%) et le post-test (39.29%).

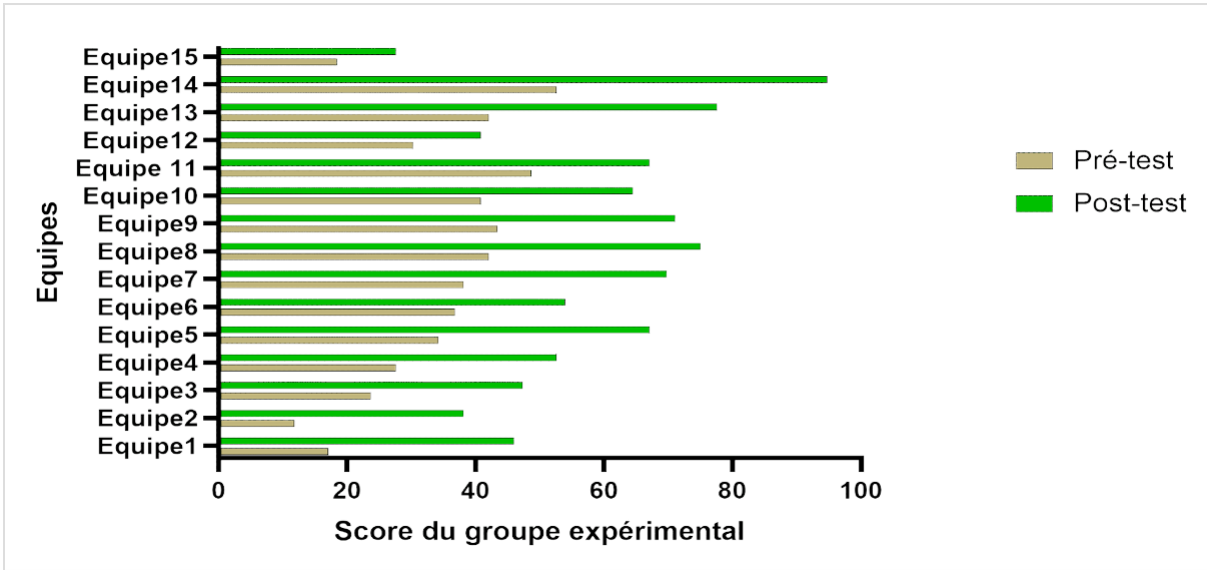


Figure 3. Évolution des scores du groupe expérimental. Une amélioration très significative est visible entre le pré-test (33.86%) et le post-test (59.57%).

Le test de Wilcoxon confirme que l'amélioration est statistiquement significative pour les deux groupes, mais de manière beaucoup plus marquée pour le groupe expérimental ($z=3.408$, $p=0.000$) que pour le groupe contrôle ($z=2.668$, $p=0.007$). La comparaison directe des post-tests entre les deux groupes (Figure 4) montre une différence statistiquement significative ($p<0.05$), validant l'efficacité supérieure de l'approche par projet.

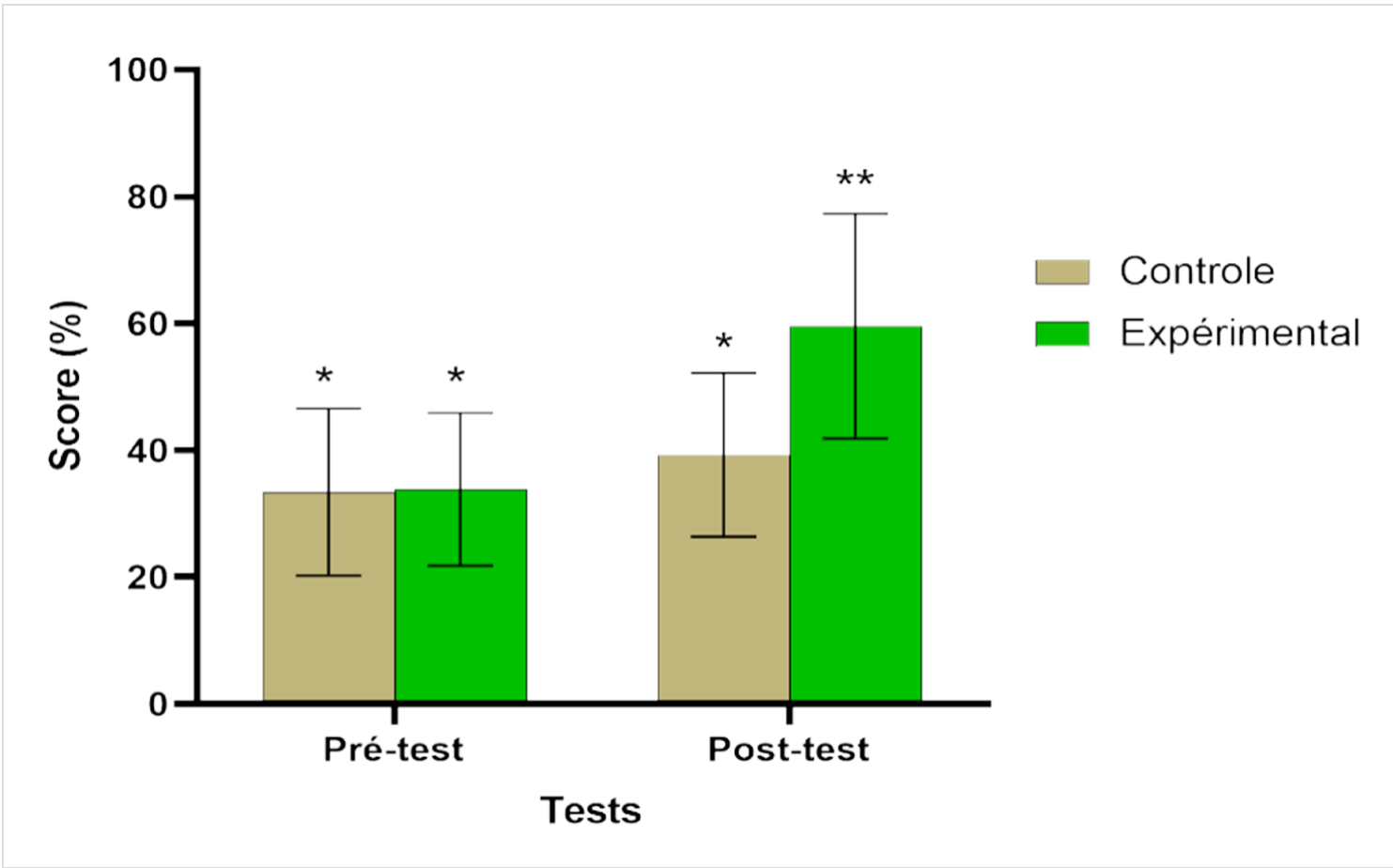


Figure 4. Comparaison des scores moyens au post-test, démontrant la performance supérieure du groupe expérimental.

4. Discussion et Conclusion

Les résultats confirment l'influence positive de l'enseignement par projet utilisant des robots éducatifs sur le développement des compétences. Alors que le groupe de contrôle a montré une progression limitée, le groupe expérimental a réalisé des gains spectaculaires. Cette différence s'explique par plusieurs facteurs : l'apprentissage devient concret, la motivation des élèves est accrue par le format du défi, et les élèves sont contraints d'appliquer des concepts théoriques à un problème réel, renforçant leur compréhension profonde.

De plus, le travail en équipe sur le projet a permis de développer des compétences transversales essentielles (communication, collaboration), qui ne sont pas sollicitées de la même manière dans un enseignement traditionnel. L'apprentissage par projet sert ainsi à décroïsonner les disciplines et à développer des compétences de vie essentielles pour le succès des élèves.

Références Clés

Bybee, R.W. (2010). What Is STEM Education?. *Science*, 329(5995), 996.
Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: a systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 2.
Kilpatrick, W. H. (1918). The project method. *Teachers College Record*, 19(4), 319-335.



L'Association de Recherche et de Développement en Education et Cognition en Sciences et Technologies (ARDECoST)

et en collaboration avec :
L'Association Tunisienne de Didactique des

Mathématiques [ATDM](#) , organise :



Colloque international 2025

Modéliser l'apprentissage : entre cognition humaine, intelligence artificielle et mathématiques

Carthage, 1 – 2 novembre 2025 ~~à Hammamet~~ (Tunisie)

Apprendre avec ou contre les machines ? Enjeux éthiques des modèles d'apprentissage artificiel et humain

Romdhane Zid¹, Sameh Hrairi²

Introduction

À l'heure où les technologies d'intelligence artificielle (IA) redéfinissent les contours de l'apprentissage, la modélisation des processus cognitifs, qu'elle s'applique à des agents humains ou artificiels, soulève des **enjeux éthiques et sociétaux majeurs**. Les systèmes d'apprentissage automatique ne se contentent plus de traiter des données : ils interviennent dans des processus de décision touchant des domaines sensibles comme l'éducation, la santé ou la justice, avec un potentiel d'**amplification des biais**, d'**opacité algorithmique** et de **déresponsabilisation humaine** (Floridi et al., 2018 ; Eubanks, 2018).

Dans le champ éducatif en particulier, ces modèles modifient les rôles traditionnels de l'enseignant, les pratiques d'évaluation, mais aussi les **normes de légitimité du savoir** (Selwyn, 2019). Cette transformation interroge : **apprend-on avec ou contre les machines ?** Quels sont les risques d'une standardisation des processus d'apprentissage dictée par des logiques computationnelles éloignées des réalités humaines, sociales et culturelles ? (Friesen, 2020).

Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est d'analyser de manière critique les **enjeux éthiques, sociaux et éducatifs** liés à la modélisation des processus d'apprentissage par l'intelligence artificielle, en mettant en lumière les tensions entre **apprentissage humain et apprentissage machinique**.

L'étude vise à nourrir une réflexion interdisciplinaire sur les responsabilités des chercheurs, des concepteurs et des institutions face à l'émergence de ces technologies dans les espaces d'apprentissage.

Cadre théorique

Trois axes structurent ce cadre théorique :

- ❖ **La critique de l'algorithmisation de l'apprentissage.**
- ❖ **La question de l'autonomie humaine face aux systèmes intelligents.**
- ❖ **La redéfinition des rapports au savoir.**

Premièrement, l'approche critique des technologies éducatives interroge le pouvoir normatif des systèmes techniques sur les pratiques d'enseignement et d'apprentissage. Inspirée par la pensée de Feenberg (2017), elle considère la technologie non comme un outil neutre, mais comme un dispositif porteur de valeurs et de choix politiques implicites. Ainsi, les systèmes d'IA intégrés à l'éducation participent à une « reconfiguration du pédagogique » (Simondon, 2001), en imposant des logiques d'optimisation, de surveillance et de prédiction qui peuvent entrer en tension avec les principes de réflexivité, d'émancipation et de contextualisation propres à l'acte éducatif.

Deuxièmement, l'éthique de l'intelligence artificielle permet d'évaluer les implications morales de la délégation de décisions pédagogiques à des systèmes algorithmiques. Selon Floridi et al. (2018), ces systèmes posent des défis en matière de responsabilité, de transparence et de justice, en particulier lorsqu'ils sont perçus comme des « boîtes noires » échappant au contrôle humain. Cette situation soulève des questions fondamentales : qui est responsable des biais dans les recommandations pédagogiques générées par l'IA ? Comment garantir l'équité dans des environnements numériques apprenants asymétriques (Eubanks, 2018) ?

Troisièmement, une lecture sociocritique de l'apprentissage souligne les tensions entre modèles d'apprentissage computationnels et approches humanistes de l'éducation. Tandis que les premiers tendent à modéliser l'apprentissage comme un traitement d'information mesurable et optimisable, les secondes insistent sur l'intersubjectivité, la diversité des savoirs et le rôle de l'expérience située dans le processus d'apprendre (Biesta, 2010). Cette tension alimente la question centrale du poster : apprend-on avec ou contre les machines ?

Hypothèses

H1 : L'intégration croissante de modèles d'apprentissage basés sur l'intelligence artificielle dans les environnements éducatifs tend à reproduire et renforcer des biais sociocognitifs, en raison de données d'entraînement partiales et d'une conception technocentrée.

H2 : Une approche interdisciplinaire et éthique de la conception des modèles d'apprentissage peut favoriser une complémentarité entre intelligence humaine et artificielle, à condition de repenser les finalités éducatives au-delà des seules logiques d'optimisation et de performance.

Questions de recherche

- 1- Comment les **modèles d'apprentissage basés sur l'intelligence artificielle influencent-ils les normes éducatives, les pratiques pédagogiques et la construction des savoirs dans les environnements d'apprentissage ?**
- 2- Quelles **conditions éthiques, sociales et épistémologiques sont nécessaires pour favoriser une complémentarité équilibrée entre apprentissage humain et apprentissage artificiel ?**

Méthodologie

Cette étude adopte une **approche qualitative et exploratoire**, complétée par un volet quantitatif descriptif, dans une logique de **triangulation méthodologique** (Jick, 1979). Elle combine deux outils principaux de collecte de données :

- 1- **Un questionnaire en ligne** destiné à recueillir les perceptions générales des acteurs éducatifs.
- 2- **Des entretiens semi-directifs** visant à approfondir les enjeux éthiques et pédagogiques liés à l'usage de l'intelligence artificielle (IA) dans les environnements d'apprentissage.

Méthode	Objectifs	Echantillon / Terrain	Outils / Techniques
Questionnaire exploratoire	Identifier les usages, représentations et préoccupations liées à l'IA en éducation.	78 enseignant-es du secondaire et du supérieur Villes : Tunis, Sfax, Sousse, Gabès	Questionnaire en ligne comprenant : – Questions fermées (échelles de Likert, QCM) – Questions ouvertes
Entretiens semi-directifs	Approfondir les enjeux éthiques, pédagogiques et critiques soulevés par l'usage de l'IA en éducation.	12 participant-es : – Enseignant-es – Concepteurs IA – Chercheurs en éthique Villes : Tunis, Sousse, Monastir	Guide d'entretien thématique structuré autour de : – Pratiques d'usage – Dilemmes éthiques – Finalités éducatives
Posture critique	Interroger les logiques normatives, les rapports de pouvoir et les finalités éducatives.	Transversale à l'ensemble de l'étude.	Ancrage théorique : – Technologies comme dispositifs sociaux (Feenberg, 2017) – Éthique éducative (Biesta, 2010) – Justice cognitive (Fricker, 2007)

Analyse des données

L'analyse des données s'est appuyée sur une **approche mixte** (Jick, 1979) :

- 1- **Les réponses fermées du questionnaire** ont été traitées par des statistiques descriptives (fréquences, pourcentages) pour dégager les usages dominants et les perceptions de l'IA en éducation.
- 2- **Les réponses ouvertes et les entretiens semi-directifs** ont été analysés par **codage thématique inductif** (Braun & Clarke, 2006 ; Paillé & Mucchielli, 2012), permettant d'identifier trois axes majeurs :
 - ❖ Ambivalence des usages (entre utilité et méfiance),
 - ❖ Redéfinition du rôle enseignant,
 - ❖ Nécessité d'une éthique de conception.

Cette lecture a été guidée par une **posture critique** (Feenberg, 2017 ; Biesta, 2010), mettant en lumière les tensions entre logiques techniques et finalités éducatives, ainsi que les enjeux de justice cognitive (Fricker, 2007).

Résultats

Les résultats présentés ci-dessous croisent les données issues du questionnaire en ligne (n = 118 répondants issus des milieux éducatifs tunisiens et francophones) et les entretiens semi-directifs menés auprès de 12 enseignants et formateurs. Deux axes majeurs structurent cette analyse :

1. Perceptions ambivalentes de l’IA éducative : entre enthousiasme et méfiance

Une majorité relative des répondants (63 %) perçoivent l’intelligence artificielle comme un outil pouvant améliorer la **personnalisation de l’apprentissage**, mais cette vision coexiste avec une inquiétude marquée quant à la perte de contrôle pédagogique (57 %) et aux risques de surveillance (41 %). Cette ambivalence traduit à la fois un intérêt pour l’**innovation technopédagogique** et une **vigilance critique** face aux logiques de standardisation et de captation des données personnelles.

Les propos des entretiens confirment cette tension : plusieurs enseignants déclarent utiliser des plateformes d’IA générative pour préparer leurs cours, tout en exprimant des réserves quant à leur fiabilité ou à leur impact sur l’autonomie des élèves. L’un d’eux note : « *C’est pratique, mais je ne sais plus si c’est moi qui enseigne ou la machine qui propose le contenu.* »

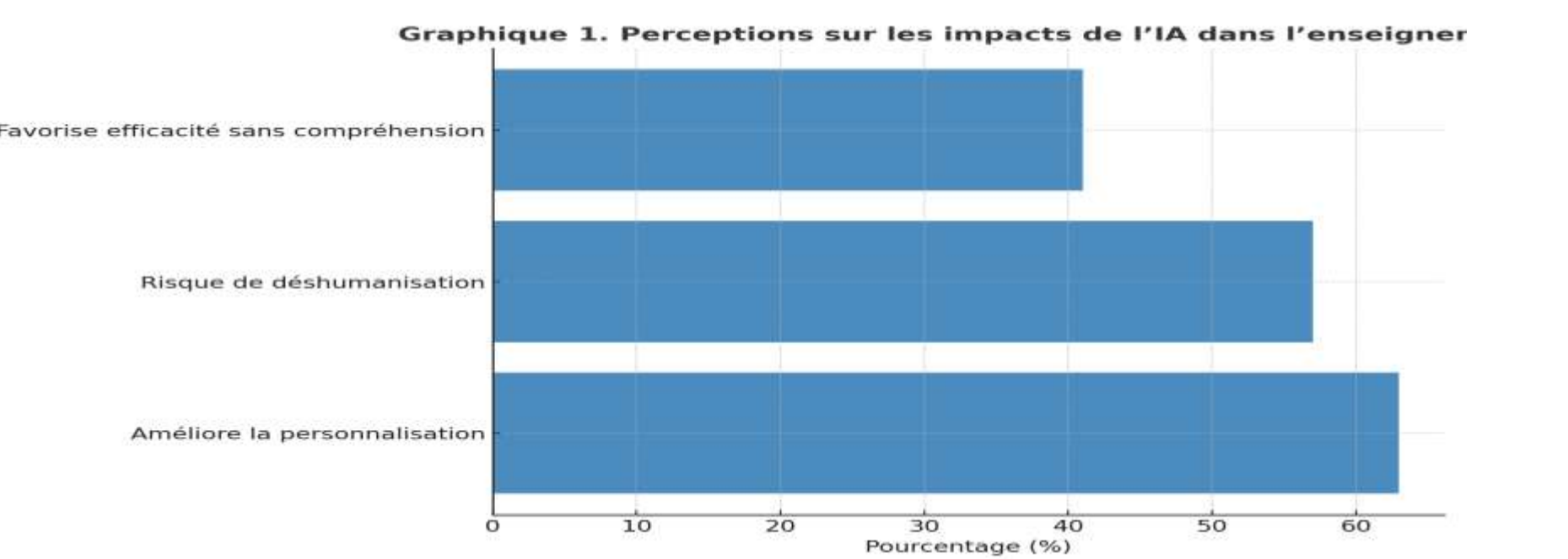


Figure.1. Perceptions des acteurs éducatifs sur les impacts de l’IA dans l’enseignement

2. Redéfinition des rôles enseignants et tensions éthiques

L’IA n’est pas perçue comme un simple outil neutre, mais comme un dispositif reconfigurant profondément les rapports au savoir et aux rôles pédagogiques :

- 68 % des répondants estiment que les systèmes d’IA modifient la posture de l’enseignant, qui devient davantage médiateur ou superviseur que transmetteur. Toutefois.
- 52 % craignent une dévalorisation de leur expertise professionnelle face à des solutions automatisées perçues comme « plus rapides » ou « plus efficaces ».

Les analyses qualitatives révèlent également un déficit d’encadrement éthique dans la conception et l’usage des dispositifs d’IA : opacité des critères de recommandation, biais culturels dans les corpus utilisés. Ces éléments sont particulièrement marqués dans les témoignages d’enseignants issus de contextes éducatifs non occidentaux, qui dénoncent une invisibilisation des savoirs locaux.

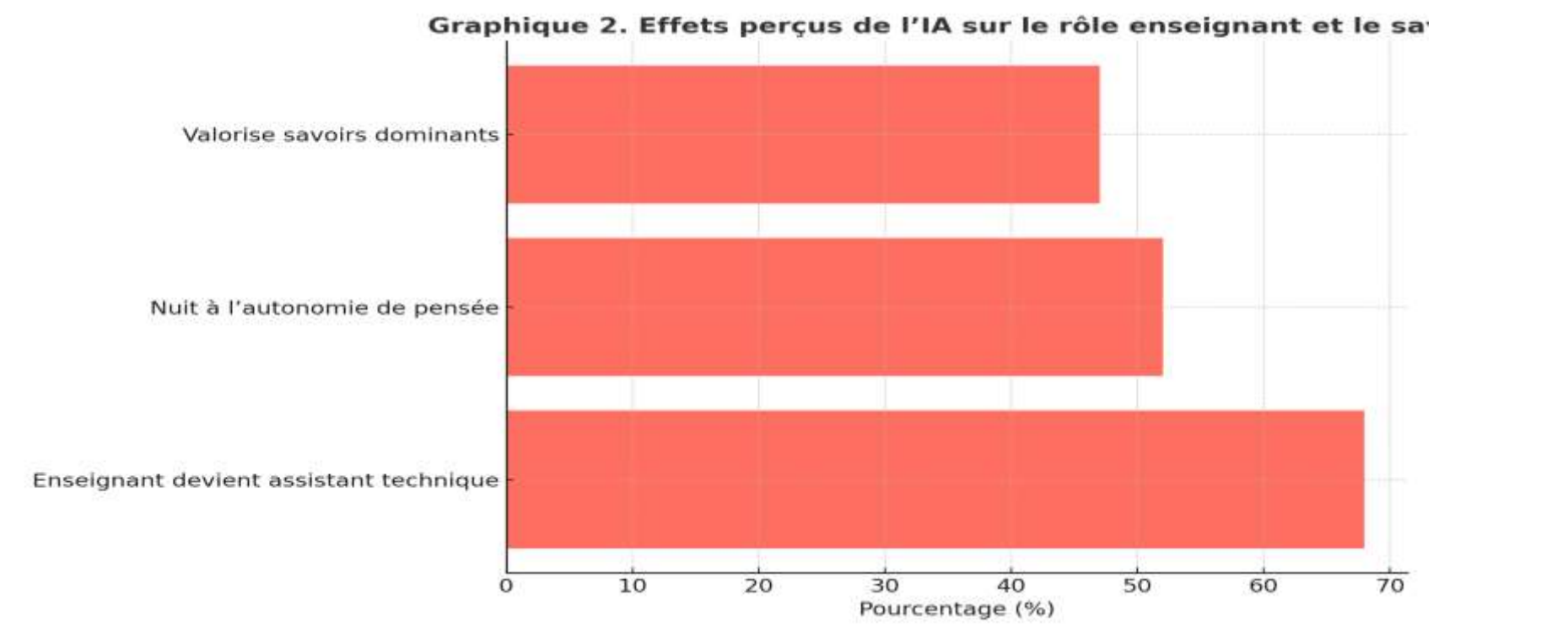


Figure.2. Effets perçus de l’IA sur le rôle enseignant et la relation au savoir.

Discussions

Ces résultats confirment les hypothèses de l’étude. D’une part, ils mettent en lumière la reproduction potentielle de biais épistémiques et sociaux à travers les systèmes d’IA, notamment lorsque leur conception repose sur des paradigmes technocentrés.

D’autre part, ils soulignent la possibilité d’une complémentarité constructive, à condition d’intégrer des principes éthiques, pédagogiques et contextuels dès la conception de ces outils.

Les enjeux de justice cognitive (Fricker, 2007), de pouvoir d’agir pédagogique (Feenberg, 2017) et de pluralité des savoirs (Biesta, 2010) apparaissent ainsi centraux pour penser une éducation avec, et non contre, les machines.

Cette analyse met également en évidence l’importance d’une formation critique des enseignants et des concepteurs de technologies éducatives. Face à l’émergence rapide d’outils d’IA dans les environnements pédagogiques, les acteurs éducatifs doivent être outillés pour interroger les finalités de ces technologies, comprendre leurs logiques de fonctionnement, et exercer un regard réflexif sur leurs usages (Selwyn, 2019 ; Williamson & Eynon, 2020).

Cela implique de développer une littératie critique de l’IA, non seulement en termes techniques, mais aussi en termes éthiques, sociaux et politiques, afin d’éviter une adoption passive de dispositifs susceptibles d’altérer la mission émancipatrice de l’éducation (Feenberg, 2017 ; Friesen, 2020). Une telle posture critique permettrait de repositionner l’enseignant non comme simple utilisateur, mais comme acteur épistémique capable de négocier les rapports de pouvoir implicites dans les systèmes techniques.

Conclusions et perspectives

L’étude a permis de mettre en lumière les tensions fondamentales entre les logiques computationnelles portées par les systèmes d’intelligence artificielle (IA) et les finalités humanistes de l’éducation.

Les résultats montrent que si l’IA est perçue comme un outil de facilitation et de personnalisation des apprentissages, elle suscite également des inquiétudes concernant la perte de contrôle pédagogique, la standardisation des savoirs et l’opacité des processus décisionnels automatisés.

Ces constats confirment la nécessité de penser une intégration critique, éthique et contextualisée de l’IA dans les environnements éducatifs. Il ne s’agit pas de rejeter en bloc les apports des technologies, mais de questionner leurs usages, leurs finalités et leurs implications pour les relations pédagogiques, la justice cognitive et l’autonomie des apprenants (Biesta, 2010 ; Fricker, 2007 ; Floridi et al., 2018).

Enfin, cette étude appelle à un dialogue interdisciplinaire soutenu entre les sciences de l’éducation, l’éthique, la sociologie, la philosophie des technologies et l’informatique. Un tel dialogue est indispensable pour construire une éducation avec les machines, sans céder à une dépendance aveugle aux logiques des machines.

Dans cette perspective, plusieurs pistes de travail se dessinent :

Renforcer la littératie critique des enseignants et des apprenants vis-à-vis de l’IA, afin de leur permettre d’exercer un regard réflexif et informé sur les dispositifs qu’ils utilisent (Selwyn, 2019 ; Williamson & Eynon, 2020).

Encourager la co-conception éthique des technologies éducatives, en associant enseignants, chercheurs, ingénieurs et apprenants dans une démarche participative.

Promouvoir des approches pédagogiques centrées sur la justice sociale, l’inclusion et la pluralité des savoirs, pour éviter une homogénéisation des contenus et des méthodes dictée par les seuls impératifs de performance algorithmique (Feenberg, 2017 ; Friesen, 2020).

Références bibliographiques

Biesta, G. (2010). *Good education in an age of measurement: Ethics, politics, democracy*. Routledge.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>

Eubanks, V. (2018). *Automating inequality: How high-tech tools profile, police, and punish the poor*. St. Martin’s Press.

Feenberg, A. (2017). *Technosystem: The social life of reason*. Harvard University Press.

Floridi, L., Cows, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... & Vayena, E. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), 689–707. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>

Fricker, M. (2007). *Epistemic injustice: Power and the ethics of knowing*. Oxford University Press.

Friesen, N. (2020). *Educational technology and the “new language of learning”: Lineage and limitations*. Springer.

Jick, T. D. (1979). Mixing qualitative and quantitative methods: Triangulation in action. *Administrative Science Quarterly*, 24(4), 602–611. <https://doi.org/10.2307/2392366>

Paillé, P., & Mucchielli, A. (2012). *L’analyse qualitative en sciences humaines et sociales* (3e éd.). Armand Colin.

Selwyn, N. (2019). *Should robots replace teachers? AI and the future of education*. Polity Press.

Simondon, G. (2001). *Du mode d’existence des objets techniques* (édition originale 1958). Aubier.

Williamson, B., & Eynon, R. (2020). Historical threads, missing links, and future directions in AI in education. *Learning, Media and Technology*, 45(3), 223–235. <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1798995>