

L'impact de l'intelligence artificielle sur l'enseignement et l'apprentissage : Enjeux et perspectives

The impact of artificial intelligence on teaching and learning: Issues and prospects

Hassan Razouki^{1*}, *Bouchaib Cherradi*², *Abdellatif Hair*³, and *Abdelhadi Razouki*⁴

¹ Equipe STIE, Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF), Fès - Meknès, Maroc

² Equipe STIE, CRMEF Casablanca-Settat, Section provinciale d'El Jadida, Maroc

³ Laboratoire Data4Earth, Faculté des sciences et technologies, Université Sultan Moulay Slimane, Beni Mellal, Maroc

⁴ Laboratoire des Sciences Humaines Appliquées, École Normale Supérieure de Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc

Résumé. L'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans le domaine de l'éducation améliore l'expérience d'apprentissage grâce à des systèmes intelligents capables d'analyser, d'adapter et de personnaliser l'enseignement. Cet article examine l'impact de l'IA sur le rôle des enseignants, l'apprentissage des élèves et la transmission des savoirs à travers une revue systématique basée sur la méthode PRISMA. Sur 1 248 articles identifiés dans Scopus (2018-2024), 20 ont été sélectionnés. Les résultats montrent que l'IA offre aux enseignants des opportunités pour automatiser les tâches administratives, personnaliser l'enseignement et identifier les besoins des élèves. Cependant, elle présente des obstacles tels que l'insuffisance des compétences numériques et pédagogiques nécessaires pour intégrer l'IA dans leurs pratiques professionnelles, les préoccupations éthiques et la résistance à son utilisation. Ces résultats montrent également que l'IA permet d'identifier les apprenants en difficulté, d'adapter les supports pédagogiques à leurs besoins spécifiques, de renforcer la motivation et l'engagement en ligne, et de fournir des retours en temps réel. Elle contribue à améliorer la modélisation et la transmission des connaissances en facilitant la création, la sélection et l'adaptation des contenus et des activités d'apprentissage selon les besoins spécifiques des apprenants. Cette étude montre que l'IA soutient positivement enseignants et apprenants. Cependant, ces technologies ne doivent pas se substituer au rôle des enseignants. Un équilibre entre ses avantages et les exigences éthiques et pédagogiques est indispensable.

* Corresponding author: razouki.hassan@gmail.com

Abstract. intelligent systems capable of analyzing, adapting, and personalizing teaching. This article examines the impact of AI on the role of teachers, student learning, and the transmission of knowledge through a systematic review based on the PRISMA method. Of 1,248 articles identified in Scopus (2018-2024), 20 were selected. The results show that AI allows teachers to automate administrative tasks, personalize teaching, and identify students' needs. However, it presents obstacles such as insufficient digital and pedagogical skills needed to integrate AI into their professional practices, ethical concerns, and resistance to its use. These results also show that AI can identify struggling learners, adapt teaching materials to their needs, boost motivation and engagement online, and provide real-time feedback. It helps to improve the modeling and transmission of knowledge by facilitating the creation, selection, and adaptation of learning content and activities according to learners' specific needs. This study shows that AI positively supports both teachers and learners. However, these technologies must not replace the role of teachers. A balance must be struck between the benefits of AI and the ethical and pedagogical requirements.

1 Introduction

Les technologies numériques sont désormais ancrées dans notre vie quotidienne. Elles modifient notre façon de rechercher des informations, de communiquer et même de nous comporter. En conséquence, le paysage éducatif a également évolué. De plus en plus de programmes éducatifs intègrent la culture numérique dans leurs cursus.

Ces changements ne se limitent pas aux programmes d'enseignement. Ces dernières années, les technologies éducatives interactives se sont largement répandues. Les apprenants utilisent des tablettes à la place des livres, et les enseignants adoptent diverses plateformes d'apprentissage telles que Google Classroom, Edmodo, PowerSchool et Moodle. Le succès des cours en ligne ouverts et massifs (MOOC) montre l'attrait croissant de l'apprentissage électronique et à distance. En parallèle, des progrès ont été réalisés dans l'application de la réalité virtuelle (RV), de la réalité augmentée (RA) et de l'intelligence artificielle (IA) au processus éducatif [1].

Selon [2] l'IA ne doit pas être considérée comme une technologie unique, mais comme un ensemble de systèmes capables d'effectuer des tâches cognitives généralement associées à l'esprit humain, notamment l'apprentissage et la résolution de problèmes. L'IA regroupe plusieurs méthodes analytiques, dont l'apprentissage automatique, réseaux de neurones et l'apprentissage profond [3]. L'apprentissage automatique est défini comme la capacité d'un algorithme informatique à apprendre à partir des données pour prendre des décisions sans être programmé [4]. Les modèles d'apprentissage automatique les plus courants sont l'apprentissage supervisé et non supervisé [5].

L'IA est déjà utilisée dans l'éducation à travers plusieurs outils, comme les Chatbots [6], les systèmes de tutorat intelligent et la notation automatisée [7]. Ces technologies offrent de nombreuses possibilités à toutes les parties prenantes dans le processus d'enseignement et d'apprentissage [8]. Elles permettent de réduire la charge de travail des enseignants dans la construction collaborative des connaissances [9], de suivre les progrès des étudiants [10], et de faciliter l'évaluation sommative grâce à la notation automatisée [11]. Pourtant, l'intégration de l'IA dans l'éducation reste insuffisante par rapport à d'autres secteurs comme la finance et la santé. Pour réussir cette mise en œuvre, il est essentiel que les enseignants de participer à la création et le développement des systèmes IA [12].

Aujourd'hui, l'IA est utilisée par les enseignants et les apprenants à tous les niveaux, de la maternelle à l'université. L'objectif de cette revue systématique est d'évaluer l'impact de

l'IA sur le rôle des enseignants, l'apprentissage des élèves et la transmission des savoirs. Nous avons utilisé la méthode PRISMA [13] (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) et la base de données Scopus pour mener cette revue systématique de la littérature. Nous avons identifié 1 248 articles dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA) en éducation publiés entre 2018 et 2024. Nous avons ensuite appliqué des critères d'inclusion et d'exclusion pour sélectionner les articles les plus pertinents avec notre sujet d'étude. Enfin, 20 articles ont été retenus pour une analyse approfondie.

Pour évaluer l'impact de l'IA sur les enseignants, les apprenants et le savoir, nous répondrons aux quatre questions suivantes :

1. Quelle est la répartition temporelle, thématique et géographique des études sur l'IA dans le domaine de l'éducation ?
2. Quelles sont les opportunités et les défis offertes par l'IA aux enseignants, et quels sont leurs besoins pour intégrer cet outil dans leur pratique pédagogique ?
3. Comment l'IA contribue-t-elle à améliorer les compétences et les processus d'apprentissage des apprenants ?
4. Quel est le rôle de l'IA dans la modélisation et la transmission des connaissances ?

Le reste du document est structuré comme suit : La section II détaille la méthodologie de notre recherche systématique, en utilisant la méthode PRISMA. La section III présente la répartition temporelle, thématique et géographique des études sur l'IA en éducation, ainsi que l'analyse des articles sélectionnés. La section IV discute des résultats obtenus pour répondre aux questions de recherche. Enfin, la conclusion et les perspectives futures sont abordées dans la section V.

2 Méthodologie

Nous avons utilisé la méthode PRISMA [13] pour mener cette revue systématique de la littérature. La recherche a été effectuée à l'aide de requêtes avancées dans la base de données Scopus, en utilisant les mots-clés exacts « Artificial Intelligence » et « Education » dans les titres des publications. Afin de réduire le nombre de résultats, nous avons ajouté d'autres critères de recherche appliqués aux résumés des publications. Ces critères concernaient spécifiquement l'enseignant, l'apprentissage des apprenants et la transmission des savoirs. Ensuite, nous avons appliqué un ensemble de critères d'inclusion et d'exclusion.

Le premier critère d'inclusion portait sur la sélection et l'analyse des articles publiés entre 2018 et 2024, incluant des articles de journaux, de conférences et des revues de synthèse. Le deuxième critère concernait les publications traitant de l'IA en éducation, en lien avec les enseignants, les apprenants et la transmission des savoirs. Enfin, le troisième critère visait à sélectionner des publications à fort impact : seules celles ayant un nombre de citations supérieur à 20 ont été retenues.

Concernant les critères d'exclusion, les publications non pertinentes ou ne répondant pas aux critères thématiques et chronologiques ont été éliminées. Le tableau 1 présente en détail les critères d'inclusion et d'exclusion appliqués dans le cadre de cette revue systématique.

Tableau 1. Critères d'inclusion et d'exclusion de l'étude systématique.

Critères d'inclusion	
Critère de recherche	Valeurs
Année de publication	– 2018-2024
Domaine de l'IA en éducation	– Titre contient : « Artificial intelligence » AND « education »

l'IA en relation avec l'enseignant, l'apprenant et le savoir.	- Résumé continent : «teacher OR Teaching», «student» et «knowledge OR curriculum»
Type d'article	- Articles de journaux, de conférences et de synthèse
Type de sources	- Journaux, actes de conférences et série de livres.
Nombre de citation des articles	- Supérieur à 20 citations.
Critères d'exclusion	
Critère de recherche	Valeurs
Langue de l'article	- N'est pas en anglais.
Type d'article	- Chapitre du livre, Compte rendu de la conférence, Éditoriaux, Lettre, Livre et document de données.
Sujet	- Ne traite pas de l'IA en éducation (enseignant, apprenant, savoir). - Traite de la médecine ou de la santé. - Traite un outil spécifique sans évoquer le domaine de l'IA en éducation. - Aborde l'IA dans le domaine de l'enseignement supérieur.

La figure 1 illustre le processus systématique de sélection des articles sous forme d'organigramme. Nous avons détaillé chaque étape de ce processus, comprenant l'identification des articles, l'application des critères d'inclusion et d'exclusion, l'évaluation de l'éligibilité et de la pertinence et la sélection finale des études retenues pour l'analyse.

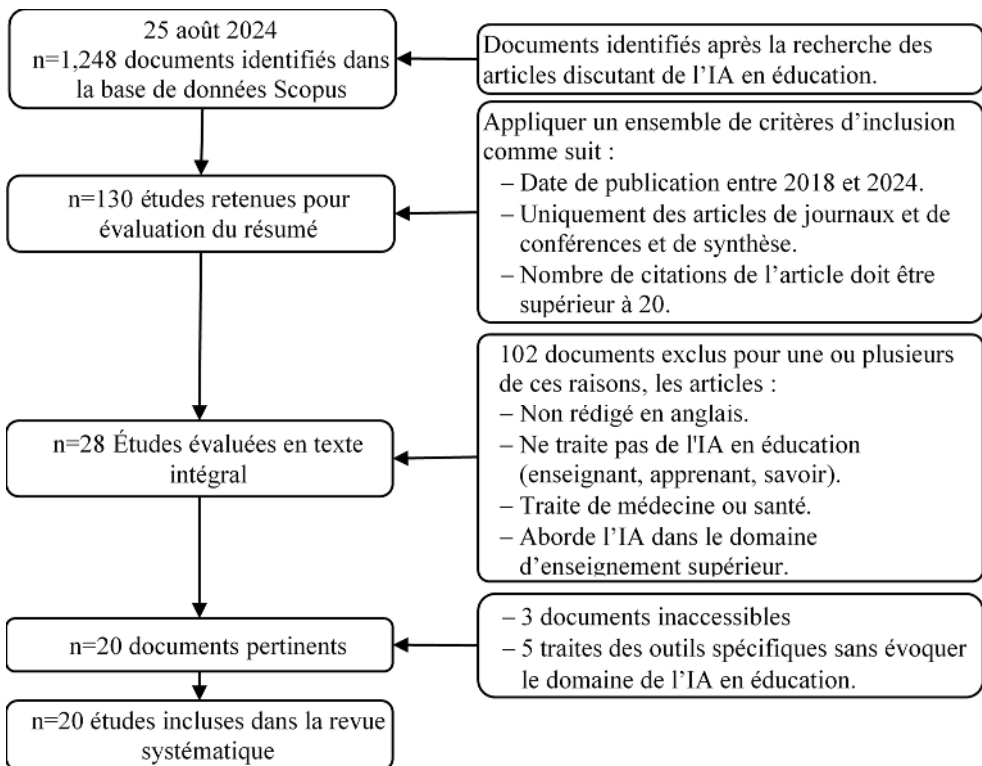


Fig. 1. Organigramme pour la sélection des articles.

3 Résultats

3.1 Répartition temporelle, thématique et géographique des études sur l'IA en éducation

Nous avons identifié plus de 1 248 documents traitant de l'IA en éducation dans la base de données Scopus. Ces articles sont classés par répartition temporelle et regroupés en trois catégories principales : "enseignant", "apprenant" et "savoir". Nous avons ensuite classé les articles par pays afin de déterminer les principaux contributeurs, ainsi que par axes de recherche pour évaluer l'intérêt de l'intégration de l'IA dans divers domaines éducatifs.

3.1.1 Répartition temporelle des articles sur l'IA en éducation

La figure 2 illustre l'augmentation rapide du nombre d'articles publiés dans ce domaine entre 2018 et 2024. Nous avons calculé le taux de croissance annuel moyen (CAGR) des publications scientifiques sur l'IA en éducation pour chaque catégorie (enseignants, apprenants et savoir). Les résultats montrent une expansion rapide de la recherche dans ce domaine. Les publications liées aux enseignants ont augmenté en moyenne de 60,69 %, celles liées aux apprenants de 72,42 %, et celles liées au savoir de 64,75 %, ce qui reflète des augmentations significatives. Cette forte croissance souligne l'intérêt croissant pour l'intégration de l'IA dans l'éducation, tant du point de vue des praticiens que des chercheurs. Cela indique non seulement un intérêt académique accru, mais aussi un potentiel immense pour l'IA qui pourrait façonner l'avenir de l'éducation en rendant les systèmes éducatifs plus efficaces, inclusifs et adaptatifs.

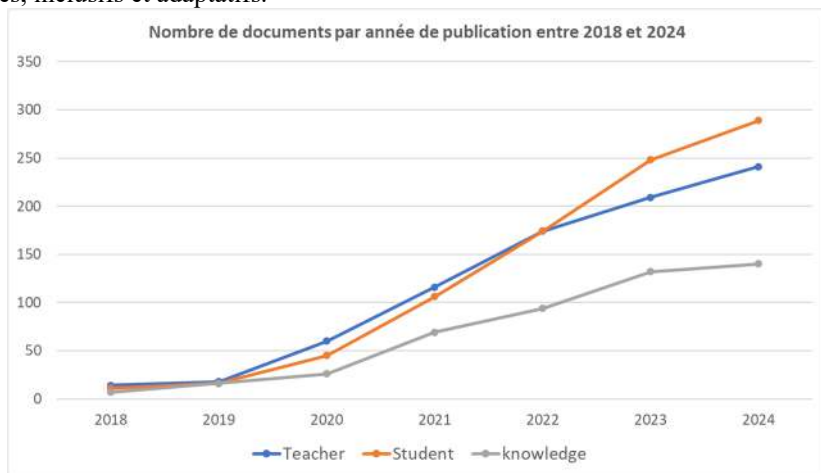


Fig. 2. Articles publiés dans Scopus dans le domaine d'IA en éducation pendant les années 2018 et 2024.

3.1.2 Répartition des articles par axe de recherche.

L'analyse des publications scientifiques sur l'IA en éducation entre 2018 et 2024 révèle une grande diversité disciplinaire et un intérêt croissant pour l'intégration de l'IA dans divers domaines de recherche. Comme l'illustre la figure 3, l'informatique représente environ 31,5% du total, ce qui souligne le rôle central des technologies informatiques dans le développement et l'application de l'IA en éducation. Les sciences sociales et l'ingénierie suivent, avec

respectivement 18% et 14.5% publications, illustrant l'importance de l'analyse des impacts sociétaux et des innovations techniques dans ce domaine.

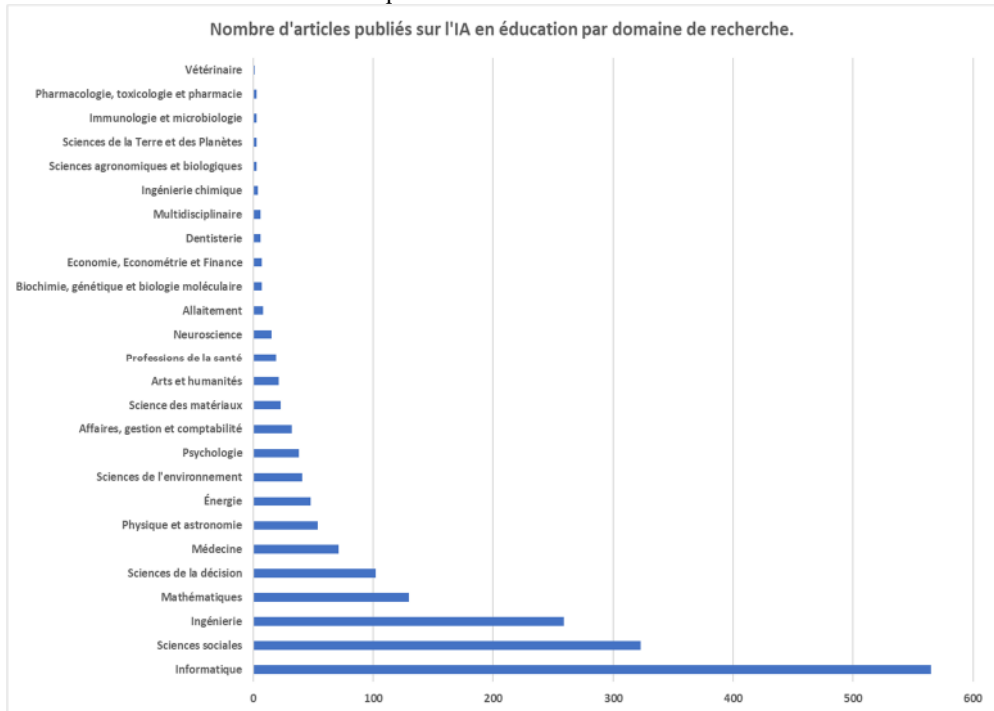


Fig. 3. Classification des articles publiés sur l'IA en éducation par domaine de recherche pendant les années 2018 et 2024.

Les mathématiques et les sciences de la décision sont également bien représentées, avec 7.3% et 5.7% publications, montrant l'intérêt pour les modèles algorithmiques et la prise de décision basée sur l'IA dans les environnements éducatifs. D'autres domaines, tels que la médecine, la physique et l'astronomie, ainsi que les sciences de l'environnement, montrent un intérêt pour l'IA dans des contextes éducatifs spécialisés. Cette analyse met en lumière l'importance croissante de l'IA en tant qu'outil multidisciplinaire en éducation, avec un potentiel transformateur qui s'étend bien au-delà des disciplines traditionnelles, touchant à la fois les sciences exactes, les sciences sociales et les professions de la santé.

3.3.3 Répartition géographique des dix premiers pays ayant publié des articles sur l'IA en éducation

La figure 4 présente les dix pays ayant publié le plus grand nombre d'articles sur l'IA en éducation. L'analyse révèle que la Chine domine largement la recherche sur l'IA en éducation (52%), suivie par les États-Unis (15%) et l'Inde (10.5%). Cette suprématie de la Chine reflète ses investissements stratégiques dans l'IA et l'éducation. Les États-Unis et d'autres pays comme l'Inde, le Royaume-Uni, l'Espagne et l'Allemagne contribuent également mais de manière plus modeste. Ces résultats mettent en évidence les disparités géographiques dans la recherche sur l'IA en éducation, et illustrent un intérêt croissant pour l'utilisation de l'IA afin d'améliorer les systèmes éducatifs.



Fig. 4. Classification des 10 premiers pays qui ont publié des articles sur l'IA en éducation entre 2018 et 2024.

3.2 intelligence artificielle dans l'éducation

Afin de présenter de manière adéquate les résultats de la littérature sur l'IA en éducation, nous proposons le modèle illustré à la figure 5. Ce modèle permet d'examiner trois grandes dimensions du processus éducatif susceptibles d'être influencées par l'IA : le rôle de l'enseignant, l'apprentissage des élèves et la transmission des savoirs.

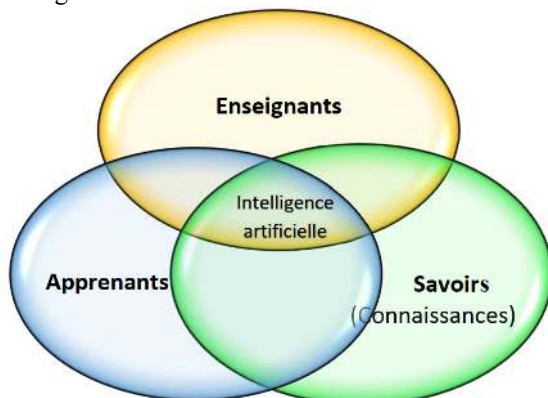


Fig. 5. Dimensions du processus éducatif susceptibles d'être influencées par l'IA.

3.2.1 Impact de l'IA sur le rôle de l'enseignant

Dans cette partie, nous avons analysé sept études portant sur l'intégration de l'IA par les enseignants et son impact sur leur rôle. Chacune apporte une perspective spécifique sur les opportunités et les défis liés à l'utilisation de l'IA par les enseignants. L'objectif est de comprendre comment l'IA soutient les enseignants dans leur pratique pédagogique, quels sont les défis de son usage et quels sont les besoins spécifiques des enseignants pour intégrer efficacement l'IA à leur enseignement.

La revue systématique de [14] offre un aperçu des recherches sur l'IA et l'analyse de l'apprentissage (AL) dans la formation des enseignants. L'étude a examiné 2012 articles et sélectionné 30 études pour une analyse approfondie. Les résultats de cette étude montrent que l'intégration des technologies numériques dans la formation des enseignants offre à la fois des opportunités et des défis. Parmi ces avantages et la notation automatisée, l'analyse

prédictive pour détecter les risques d'abandon, l'apprentissage adaptatif pour personnaliser l'enseignement et l'utilisation de Chatbots pour soutenir l'apprentissage. Cependant, l'étude met également en lumière des préoccupations éthiques comme la protection de la vie privée et la manipulation des données collectées par l'IA. Cette étude conclut que l'utilisation efficace de ces technologies nécessite de renforcer les compétences numériques des enseignants lors de formations initiales et continues, et de les préparer à intégrer ces outils dans leur pratique éducative.

L'étude de [15] explore les perceptions des enseignants concernant l'IA, en se focalisant sur l'équité, la responsabilité, la transparence et l'éthique (FATE). Les chercheurs ont questionné 140 enseignants estoniens afin d'évaluer leur compréhension et leurs préoccupations concernant l'IA dans le domaine de l'éducation. Les résultats montrent que les enseignants considèrent l'IA comme une opportunité pour l'éducation, tout en reconnaissant avoir des connaissances limitées sur son utilisation pratique. Selon cette étude, l'IA permet de faciliter les tâches administratives, de gérer les supports pédagogiques et de personnaliser l'apprentissage. Toutefois, les enseignants expriment des préoccupations concernant l'effort nécessaire pour apprendre à utiliser ces technologies et les questions de confiance qui peuvent se poser. Les enseignants soulignent la nécessité d'un soutien pour améliorer leur efficacité et leur efficacité dans leur pratique professionnelle, en particulier dans la préparation de contenu pédagogique, la personnalisation de l'apprentissage et l'identification des idées erronées.

L'étude exploratoire de [16] examine l'impact de l'IA dans ce domaine à travers une revue systématique basée sur la méthode PRISMA de 141 articles. Elle propose une classification des applications de l'IA et un cadre d'aide aux enseignants qui souhaitent développer les compétences nécessaires à son utilisation. Les auteurs soulignent l'importance d'une utilisation éthique de l'IA et proposent des recommandations pour son intégration dans l'enseignement et l'apprentissage. Les résultats montrent que l'IA en éducation améliore les compétences des étudiants en auto-régulation, augmente leur engagement cognitif dans la résolution de problèmes et renforce leur motivation, qu'elle soit extrinsèque ou intrinsèque. De plus, aucune différence significative n'a été observée entre les résultats d'apprentissage avec les systèmes de tutorat intelligent (ITS) et le tutorat humain.

L'étude de [17] examine l'impact de l'IA sur les pratiques pédagogiques en classe, en insistant sur la nécessité d'une intégration plus solide entre l'IA et les perspectives pédagogiques dans l'enseignement primaire et secondaire. Cette étude montre que l'IA profite surtout aux élèves motivés et avancés et son efficacité dépend du soutien de l'enseignant. S'appuyant sur la théorie de l'autodétermination, l'étude analyse comment le soutien de l'enseignant modère l'impact de l'expertise des élèves sur leur motivation à utiliser l'IA. Une expérience menée auprès de 123 élèves utilisant des chatbots comme technologie d'IA montre que la motivation intrinsèque et la capacité d'apprentissage des élèves avec ces outils dépendent à la fois de leur expertise et du soutien apporté par l'enseignant. Les résultats soulignent l'importance du rôle de l'enseignant dans l'optimisation de l'usage de l'IA en classe, avec une approche équilibrée qui soutient à la fois l'autonomie et les relations des élèves pour une utilisation efficace des technologies d'IA.

L'étude de [18] explore les perceptions des enseignants de collège concernant l'enseignement des compétences liées à l'IA et identifie les besoins pour intégrer efficacement l'IA dans les pratiques pédagogiques. Bien que motivés à intégrer l'IA, les enseignants ont une compréhension limitée des concepts de l'IA et manquent de compétences numériques, ce qui constitue un obstacle majeur. L'étude souligne l'importance de la relation entre motivation, compétences et outils disponibles pour adopter l'éducation à l'IA. Elle recommande de concevoir des programmes qui répondent aux besoins des enseignants en matière de développement des compétences numériques, tout en les motivant à s'engager

dans l'apprentissage de l'IA. Ces facteurs sont essentiels pour assurer une intégration réussie et durable de l'IA dans les écoles.

L'étude de [19] introduit le TPACK intelligent, un cadre étendu du modèle TPACK dans lequel une dimension éthique est intégrée pour promouvoir une utilisation responsable des outils basés sur l'IA dans l'éducation. Ce cadre combine les connaissances technologiques, pédagogiques et de contenu, et ajoute une dimension éthique essentielle pour répondre aux préoccupations liées à l'utilisation de l'IA dans les environnements d'apprentissage. Il répond aux besoins d'une meilleure intégration de l'IA et d'une réflexion éthique en classe. Les résultats montrent que les connaissances éthiques sont essentielles pour garantir une utilisation équitable et transparente des outils d'IA en classe, et que la formation continue des enseignants est cruciale pour une intégration réussie.

L'étude de [20] souligne l'importance d'intégrer l'apprentissage automatique (ML) dans les salles de classe pour permettre aux élèves de comprendre la technologie de l'IA dans une société axée sur les données. L'étude aborde les défis pédagogiques et techniques ainsi que la nécessité d'adapter les approches traditionnelles. L'article insiste sur des projets pratiques autour des données, l'intégration des approches STEM/STEAM, ainsi que sur l'importance de l'inclusion de l'éthique de l'IA. Il conclut en appelant à une éducation équilibrée, préparant les élèves aux enjeux éthiques et sociétaux de l'IA.

3.2.2 Impact de l'IA sur les processus d'apprentissage des apprenants

Dans cette partie, nous avons sélectionné huit articles pour notre revue systématique portant sur l'impact de l'IA sur les processus d'apprentissage des apprenants. Notre objectif est d'analyser les travaux les plus pertinents afin de déterminer comment l'IA peut améliorer les compétences et les processus d'apprentissage des apprenants.

L'étude de Huang [21] met en lumière l'importance croissante de l'éducation à l'IA en Chine, montrant son impact positif sur des compétences clés comme les connaissances, le travail d'équipe et l'apprentissage. Bien que les étudiants s'intéressent à l'apprentissage de connaissances en IA, particulièrement dans des domaines de la programmation, de traitement d'image et de robotique, l'étude révèle des défis tels que le manque d'enseignants spécialisés et des disparités régionales. L'auteur recommande d'améliorer la coopération et les compétences culturelles dans les cours d'IA, soulignant la nécessité de réformes pour préparer les étudiants à une société intelligente.

L'étude de [22] présente AISAR, un système d'évaluation et de recommandation pour l'apprentissage en ligne basé sur l'IA. En utilisant des réseaux de neurones récurrents (RNN), le clustering DBSCAN et l'apprentissage par renforcement, AISAR surmonte les limites des systèmes traditionnels en prédisant les performances des étudiants et en fournissant des recommandations personnalisées. Bien qu'efficace, des défis persistent quant à l'évaluation individuelle précise. Ce système met en évidence la nécessité d'une intégration plus robuste de l'IA dans les plateformes d'apprentissage en ligne pour répondre aux besoins diversifiés des étudiants et optimiser leur parcours éducatif dans un contexte de Big Data.

L'étude de [23] propose un modèle de prédiction basé sur des arbres de décision pour identifier les étudiants à risque d'échec académique durant les premières semaines de cours. Utilisant des données telles que la moyenne cumulative et la présence en classe, ce modèle offre des prédictions précises permettant d'effectuer des interventions ciblées et personnalisées. Les résultats montrent que les performances des étudiants bénéficiant de ce soutien s'améliorent. L'étude souligne l'efficacité des arbres de décision pour surveiller les progrès académiques et faciliter des mesures préventives adaptées, ce qui permet d'améliorer les résultats scolaires.

L'étude de [24] explore l'Éducation 4.0, qui intègre des technologies comme l'intelligence artificielle, l'Internet des objets, la réalité augmentée et virtuelle afin de créer des

environnements d'apprentissage personnalisés. L'auteur propose un système de reconnaissance des étudiants en difficulté basé sur des techniques d'apprentissage automatique telles que les machines à vecteurs de support (SVM) et les réseaux de neurones, afin d'identifier ces derniers dès les premiers mois de leur cursus. Ce système a pour objectif de réduire les taux d'échec aux examens, d'améliorer l'engagement des étudiants et d'optimiser les stratégies d'apprentissage. L'étude aborde également les défis liés à l'intégration des capteurs intelligents et à la gestion de la confidentialité des données biométriques.

L'étude de [25] examine les facteurs influençant l'intention des élèves du primaire de poursuivre leur apprentissage de l'IA. Elle se concentre sur la littératie en IA, la confiance dans l'apprentissage et l'utilisation de l'IA à des fins sociales. Les résultats montrent que ces trois facteurs sont positivement liés à l'intention des élèves de poursuivre l'apprentissage et l'utilisation des technologies d'IA. L'étude souligne également l'importance de rendre les concepts d'IA accessibles dans les programmes éducatifs et de renforcer la confiance des élèves grâce à des expériences d'apprentissage pratiques. Elle insiste également sur la nécessité de promouvoir les applications de l'IA ayant un impact social positif pour motiver les jeunes apprenants.

L'étude de [26] propose d'intégrer des modèles IA de prédiction de performance avec des approches d'analyse d'apprentissage (LA) afin d'améliorer l'apprentissage collaboratif en ligne. Le modèle IA a permis de prédire avec précision les performances des étudiants et de fournir des retours personnalisés. Les résultats montrent une amélioration de l'engagement, des performances collaboratives et de la satisfaction des étudiants. Selon cette étude, l'intégration de l'IA et de l'analyse d'apprentissage permet de réaliser des ajustements basés sur les données et d'améliorer la qualité de l'enseignement et de l'apprentissage.

L'étude de [27] analyse l'impact de ChatGPT sur les compétences en pensée computationnelle, l'auto-efficacité en programmation et la motivation des étudiants en cours de programmation universitaire. L'étude, menée auprès de 45 étudiants répartis en groupe expérimental (utilisant ChatGPT) et groupe de contrôle (sans accès), révèle que l'outil améliore l'engagement des étudiants en automatisant certaines tâches de codage, ce qui réduit leur frustration. Les résultats montrent que l'utilisation de ChatGPT renforce les compétences en pensée computationnelle et accroît la confiance des étudiants, augmentant ainsi leur motivation à apprendre. Toutefois, l'étude met en garde contre une dépendance excessive à ces technologies et souligne l'importance de développer des compétences de résolution de problèmes de manière autonome.

L'étude de Chai [28] explore les facteurs influençant l'intention des élèves du primaire d'apprendre l'IA, en s'appuyant sur la théorie du comportement planifié (TPB). Les résultats montrent que l'auto-efficacité, la préparation à l'IA et la perception de son utilisation pour le bien social sont des prédicteurs clés de cette intention, l'auto-efficacité étant le plus influent. Cela souligne l'importance de la confiance des élèves dans leurs capacités d'apprentissage. L'étude recommande d'inclure des activités pratiques et de résoudre des problèmes réels dans les curricula afin de motiver les élèves et de renforcer leur intention d'apprendre l'IA.

3.2.3 Impact de l'IA sur la transmission de savoir en éducation

Dans cette partie, nous avons sélectionné cinq articles pour déterminer comment l'IA peut personnaliser les parcours d'apprentissage en fonction des besoins spécifiques des apprenants.

L'étude de [29] explore l'intégration de l'IA dans l'éducation de la petite enfance, soulignant l'importance de développer une littératie numérique dès le plus jeune âge pour promouvoir l'équité numérique. Il souligne également la nécessité de concevoir des curricula adaptés aux jeunes enfants pour les sensibiliser aux concepts fondamentaux de l'IA, en

utilisant une approche pédagogique incarnée et culturellement réactive. Cette approche inclut l'utilisation d'activités pratiques, d'apprentissage par projet et de plateformes interactives telles que "Quick, Draw!" et "Teachable Machine" pour rendre l'apprentissage de l'IA accessible et pertinent. Le programme "AI for Kids" s'est révélé efficace pour engager les jeunes enfants sur des thèmes comme la protection de l'environnement. L'étude recommande de développer des méthodes d'enseignement adaptées aux capacités des enfants et de renforcer la formation des enseignants pour améliorer la littératie numérique dans divers contextes éducatifs.

L'étude de [30] analyse les applications de l'IA dans l'éducation en se concentrant sur l'évaluation des connaissances et des apprentissages. Les auteurs soulignent le potentiel de l'IA pour transformer l'éducation grâce à des approches personnalisées et adaptatives. Ils introduisent l'apprentissage personnalisé et l'évaluation assistée par l'IA, qui permettent de mesurer des performances complexes en détectant des motifs cachés dans les données (textes, images) via des algorithmes d'apprentissage profond. L'IA peut identifier les besoins individuels des apprenants, ajuster les parcours d'apprentissage en fonction des résultats obtenus et offrir un apprentissage adaptatif. L'IA agissant comme une « prothèse cognitive » pour augmenter les capacités des enseignants et des élèves. Cependant, ils insistent sur le fait que l'IA doit assister les enseignants, sans les remplacer, afin de créer des contextes d'apprentissage plus riches et humains.

L'étude de [31] évalue les performances de ChatGPT dans un cours de physique de niveau introductif. Si l'IA est capable de traiter certains concepts théoriques et de réussir des évaluations de base, elle montre toutefois des limites dans les calculs numériques, la métacognition et la résolution de problèmes complexes. L'IA peut soutenir l'apprentissage personnalisé, mais elle montre de grandes lacunes lorsqu'il s'agit de s'auto-corriger et de résoudre des problèmes complexes. L'étude souligne les défis de l'intégration de l'IA dans l'éducation, notamment le risque de tricherie. L'auteur propose des solutions innovantes, telles que l'utilisation de questions graphiques et de mesures physiques basées sur des outils pratiques, pour renforcer les compétences analytiques des étudiants tout en réduisant la dépendance à l'IA.

L'étude de [32] examine l'émergence de l'Artificial Intelligence Learning Science (AILSci) en tant que nouveau mode de production des connaissances dans le domaine de l'éducation, basé sur des infrastructures numériques et des technologies de big data. Cette discipline combine l'intelligence artificielle (IA) et les sciences de l'apprentissage afin d'analyser les processus corporels et neuronaux des étudiants à l'aide de dispositifs tels que les capteurs EEG et les plateformes biométriques. L'AILSci engendre de nouvelles expertises, telles que la précision éducative et l'ingénierie de l'apprentissage, en combinant la cognition humaine et la cognition machine. Cette approche crée des "assemblages cyborg" qui produisent des connaissances novatrices sur les processus éducatifs.

L'étude [33] propose d'intégrer un chatbot doté d'IA dans un campus intelligent. Cette étude représente une avancée significative pour l'amélioration de l'apprentissage personnalisé. Grâce au traitement du langage naturel, le chatbot fournit des recommandations basées sur les performances académiques. Les résultats de cette étude montrent une amélioration significative de l'engagement et des résultats scolaires, avec une augmentation de 59 % de l'intérêt pour les activités académiques sur une période de 30 jours. L'IA permet de personnaliser l'apprentissage en identifiant les forces et les faiblesses des étudiants, tout en offrant une supervision et un retour d'information en temps réel. L'architecture proposée permet non seulement d'améliorer l'engagement des étudiants, mais aussi d'adapter dynamiquement le contenu pédagogique en fonction de variables critiques telles que la participation, la fatigue ou les performances scolaires. Cette approche souligne le rôle croissant des Chatbots et de l'intelligence artificielle dans la personnalisation de l'apprentissage et la transformation des modèles éducatifs traditionnels.

4 Discussion

Afin d'aborder cette section, nous répondrons à quatre questions essentielles. La première explore les opportunités et les défis que l'IA peut offrir aux enseignants. La deuxième examine les besoins spécifiques des enseignants pour intégrer efficacement l'IA dans leur pratique pédagogique. La troisième question aborde la manière dont l'IA peut développer les compétences et les processus d'apprentissage des apprenants. Enfin, la quatrième s'interroge sur le rôle de l'IA dans la modélisation et la transmission des connaissances.

4.1 Opportunités et défis de l'IA pour les enseignants

L'IA offre de nombreuses opportunités pour améliorer les pratiques pédagogiques des enseignants. Cela inclut l'automatisation des tâches administratives, comme la notation automatisée des travaux, la prédiction des abandons scolaires, la gestion des supports pédagogiques et l'utilisation de Chatbots pour répondre aux questions des élèves. Cela permet aux enseignants de consacrer plus de temps à la préparation des cours et d'assurer un soutien direct aux apprenants.[14] [15]. De plus, elle permet de personnaliser l'enseignement en s'adaptant aux besoins individuels des élèves. Les outils d'analyse de l'apprentissage (AL) détectent les besoins des élèves et adaptent les contenus pour correspondre à leur niveau [14] [17]. Cela permet aux enseignants de mieux cibler les élèves en difficultés, tout en améliorant leur engagement cognitif.

Dans le même contexte, l'étude de Lameris et Arnab [16] souligne que l'IA ne se substitue pas aux enseignants, mais redéfinit leur rôle. L'IA aide les enseignants à concevoir et à orchestrer des environnements d'apprentissage plus dynamiques. Les enseignants doivent toutefois devenir des facilitateurs capables d'intégrer ces outils pour maximiser l'engagement des élèves.

Les défis liés à l'utilisation de l'IA par les enseignants sont nombreux, et plusieurs études fournissent des perspectives clés sur ces difficultés. Le principal obstacle est le manque de compétences numériques, qui empêche une intégration efficace des technologies IA dans les pratiques pédagogiques [14] [18]. Des préoccupations éthiques comme la protection de la vie privée et les biais des systèmes IA, compliquent l'adoption et nécessitent une formation éthique approfondie pour les enseignants [19]. Les enseignants expriment également le besoin de soutien face à la charge de travail supplémentaire liée à l'apprentissage de ces outils, ainsi qu'une certaine réticence à leur utilisation due à un manque de confiance et de compréhension. Enfin, maintenir l'équilibre entre l'autonomie des élèves et le soutien des enseignants dans l'utilisation de l'IA est crucial, mais difficile sans une formation adéquate [17].

L'analyse de ces études montre que l'intégration de l'IA dans le domaine de l'éducation présente un large éventail d'opportunités et de défis pour les enseignants. Le tableau 2 présente ces opportunités et ces défis.

Tableau 2. les opportunités et les défis que l'IA peut offrir aux enseignants.

Opportunités	Défis
<ul style="list-style-type: none">– Faciliter la gestion des supports pédagogiques.– Fournir des informations précises sur les apprenants.– Automatiser la correction et la notation des examens.– Suivre les progrès des apprenants.	<ul style="list-style-type: none">– Manque de compétences numériques pour intégrer l'IA en classe.– Préoccupations éthiques et protection des données sensibles des élèves.– Compréhension limitée de la technologie de l'IA.– Charge de travail pour maîtriser et intégrer l'IA en classe.

<ul style="list-style-type: none">- Améliorer la prise de décision pédagogique.- Modéliser le travail des enseignants.- Renforcer les compétences professionnelles des enseignants.	<ul style="list-style-type: none">- Adaptation des approches pédagogiques traditionnelles.
---	--

4.2 Besoins des enseignants pour intégrer efficacement l'IA dans leur pratique pédagogique

Pour intégrer efficacement l'IA à leur pratique pédagogique, les enseignants ont des besoins spécifiques en termes de compétences numériques et de soutien institutionnel. Selon l'étude de Polak [18], le manque de compétences numériques est l'un des principaux obstacles à l'intégration de l'IA. Ils ont besoin de formations continues pour développer non seulement des compétences techniques, mais aussi des connaissances pédagogiques adaptées aux technologies IA, telles que la conception de supports d'apprentissage intelligents et la gestion d'outils d'apprentissage assistés par IA.

Outre les compétences techniques, les enseignants doivent posséder une compréhension approfondie des implications éthiques de l'IA. Le cadre Intelligent-TPACK de Celik [19] propose une approche qui combine connaissances technologiques, pédagogiques et éthiques, soulignant l'importance de la réflexion éthique lors de l'utilisation de l'IA en classe. Les enseignants doivent ainsi être formés à utiliser l'IA de manière transparente et responsable, afin de garantir l'équité et la protection des données dans l'apprentissage.

Enfin, Chounta [15] indiquent que les enseignants souhaitent bénéficier d'un accompagnement pratique pour utiliser les outils d'IA, notamment pour des tâches liées à la préparation de contenu éducatif personnalisé et à la gestion des données des élèves. Ils réclament également des ressources technologiques adéquates et une plateforme d'échange de bonnes pratiques pour faciliter leur apprentissage continu de l'utilisation des technologies d'IA.

Comme le montre la figure 6, les résultats de ces études indiquent que l'intégration efficace de l'IA dans les pratiques pédagogiques des enseignants nécessite une formation aux outils d'IA disponibles, une compréhension des impacts pédagogiques et éthiques, ainsi que la mise en lumière des bénéfices qu'elle peut apporter à l'apprentissage des élèves. En parallèle, un accompagnement personnalisé est nécessaire pour aider les enseignants à adopter ces technologies de manière efficace, ainsi qu'un accès équitable à des ressources pédagogiques basées sur l'IA.

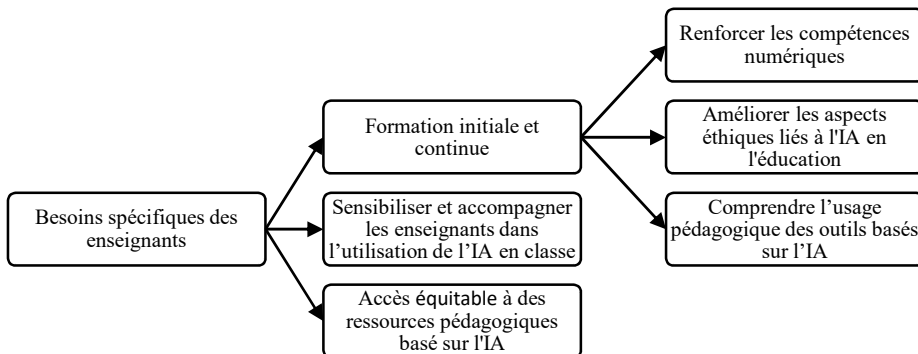


Fig. 6. Besoins des enseignants pour intégrer l'IA dans leur pratique pédagogique.

4.3. Rôle de l'IA dans l'amélioration des compétences et des processus d'apprentissage des apprenants

L'IA joue un rôle de plus en plus central dans l'amélioration des compétences et des processus d'apprentissage des apprenants, comme le soulignent plusieurs études. En Chine, Huang [21] souligne l'importance de l'éducation à l'intelligence artificielle pour développer des compétences liées à la connaissance, au travail d'équipe et à l'autonomie dans l'apprentissage. Les résultats de cette étude montrent également un fort intérêt pour l'apprentissage des connaissances en IA, bien que l'IA contribue à améliorer les compétences des étudiants, des lacunes importantes, telles que le manque d'enseignants spécialisés et l'absence de planification globale, freinent l'optimisation de l'éducation à l'IA. L'auteur recommande une réforme des programmes éducatifs pour mieux intégrer l'IA, tout en favorisant la coopération et le développement des compétences culturelles, afin de préparer les étudiants à évoluer dans une société intelligente.

Dans le même contexte, l'étude de Yilmaz et Karaoglan [27] montre que l'utilisation de ChatGPT renforce les compétences en pensée computationnelle et l'auto-efficacité en programmation. En automatisant certaines tâches, ces outils réduisent la frustration des apprenants et augmentent leur auto-efficacité et leur engagement. Toutefois, l'étude avertit contre une dépendance excessive à l'IA, soulignant l'importance de maintenir des compétences autonomes en résolution de problèmes.

L'analyse de ces études montre aussi que l'IA offre un apprentissage personnalisé et des recommandations adaptées aux besoins individuels des étudiants. L'étude de Bagunaid [22] proposant un nouveau système (AISAR) de recommandation et d'évaluation des étudiants basé sur l'IA pour l'apprentissage en ligne, ce système est efficace pour prédire les performances des étudiants et fournir des recommandations à l'aide d'algorithmes de Machine Learning. Ce système met en évidence la nécessité d'une intégration plus robuste de l'IA dans les plateformes d'apprentissage en ligne pour répondre aux besoins diversifiés des étudiants et optimiser leur parcours éducatif dans un contexte de Big Data. L'étude de Khan [23] montre également l'efficacité de l'IA pour soutenir les apprenants en développant un modèle de prédiction basé sur des arbres de décision. Ce modèle permet d'identifier efficacement les étudiants à risque d'échec académique dès les premières semaines d'un cours. Cette approche illustre comment l'IA peut jouer un rôle préventif dans l'amélioration des résultats académiques. Le rôle prédictif de l'IA est mis en avant dans l'étude de [24], qui démontrent que l'IA peut identifier les étudiants à risque dès le début de leurs études, ce qui facilite une intervention préventive et améliore les taux de réussite.

L'impact des outils d'IA sur l'engagement et les performances des étudiants est aussi visible à travers les résultats de l'étude d'Ouyang [26], qui montrent que l'intégration de l'IA avec l'analyse de l'apprentissage améliore l'engagement et les performances collaboratives des étudiants, et de renforcer leur satisfaction quant à l'apprentissage en ligne. Les étudiants bénéficient de retours en temps réel qui favorisent une meilleure compréhension des tâches et améliorent la dynamique de groupe. Les études de Chai [28] [25] mettent en lumière l'importance de rendre les concepts d'IA accessibles dans les programmes éducatifs tout en renforçant la confiance des élèves grâce à des expériences d'apprentissage pratiques. Elle insiste également sur la nécessité de promouvoir les applications de l'IA ayant un impact social positif, qui semblent particulièrement motivantes pour les jeunes apprenants.

Selon les études analysées, l'IA joue un rôle important dans l'amélioration des compétences des apprenants de plusieurs façons. Ces études montrent également que l'intégration réussie de l'IA dépend souvent du soutien des enseignants et de l'adaptation des outils pédagogiques aux besoins spécifiques des apprenants. En résumé, nous définissons le rôle de l'IA auprès des apprenants comme suit :

- Personnaliser les recommandations d'apprentissage.

- Aider à identifier les apprenants à risque d'échec académique.
- Détecter les étudiants en difficulté et offrir des supports d'apprentissage adaptés.
- Augmenter la motivation et l'engagement des apprenants.
- Fournir des feedbacks en temps réel aux étudiants.
- Développer des compétences en pensée computationnelle.
- Améliorer l'auto-efficacité des apprenants grâce à un soutien personnalisé.

4.4. Rôle de l'IA dans la modélisation et la transmission des connaissances

L'IA permet de personnaliser les parcours d'apprentissage afin de répondre aux besoins spécifiques des apprenants. L'article de Yang [29] souligne l'importance d'adapter l'enseignement aux capacités des jeunes enfants, à l'aide d'outils interactifs tels que « Quick, Draw ! » et « Teachable Machine ». De même, Cope [30] montre que l'IA offre un apprentissage personnalisé et adaptatif, ajustant les parcours en temps réel. Cette idée est renforcée par l'étude de Villegas-Ch [33], qui montre que l'utilisation de Chatbots basés sur des données issues de l'IoT et proposant des recommandations personnalisées permet d'améliorer l'engagement des étudiants.

L'IA est souvent associée à des systèmes d'évaluation et d'analyse des performances. Cope [30] mettent en évidence comment l'IA peut offrir une évaluation continue et adaptative. De plus, l'IA permet une personnalisation de l'apprentissage grâce à des analyses précises, comme l'illustrent les travaux de Villegas-ch [33], qui utilisent l'IA pour analyser en temps réel la performance académique des étudiants et ajuster les recommandations.

L'IA est également intégrée à la production et à l'organisation des connaissances. Williamson [32] explore la manière dont l'AILSci (Artificial Intelligence Learning Science) utilise des dispositifs IA pour produire de nouvelles formes de savoirs sur les processus éducatifs, en combinant la cognition humaine et celle des machines. Cette approche est également présente dans les études de Cope [30], qui évoquent l'utilisation d'ontologies et de modèles de données pour structurer les informations éducatives.

De plus, l'IA intervient directement dans la transmission des connaissances. Les systèmes d'IA peuvent sélectionner et adapter les contenus pédagogiques à transmettre, en s'assurant qu'ils correspondent aux besoins spécifiques des apprenants. Comme l'indiquent Villegas-Ch [33], l'utilisation de Chatbots intégrés dans des environnements d'apprentissage personnalisés permet une adaptation dynamique des ressources, renforçant ainsi l'engagement et l'efficacité des étudiants. Ces systèmes, enrichis par l'IA, permettent également la production et l'enrichissement des ressources éducatives, telles que les supports de cours adaptés aux caractéristiques individuelles des apprenants [29].

Ces études montrent que l'IA joue un rôle crucial dans la modélisation et la transmission des connaissances en permettant une personnalisation accrue des parcours d'apprentissage. La modélisation des connaissances peut se faire via la création de réseaux sémantiques permettant de relier des concepts entre eux, ou bien en extrapolant ou en inférant des relations à partir d'une base de connaissances. C'est à partir de cette modélisation que les systèmes de tutorat intelligent peuvent prendre des décisions pédagogiques sans qu'elles aient été programmées explicitement.

Cette modélisation des connaissances, réalisée ou soutenue par l'IA, permet ensuite de les transmettre aux apprenants. Plus précisément, l'IA peut être amenée à choisir les connaissances à transmettre. Les systèmes d'IA peuvent également être utilisés pour produire ou enrichir des ressources didactiques. Cela peut consister à produire du matériel répondant

à des caractéristiques particulières d'un élève, à traduire du matériel, à générer automatiquement des sous-titres ou à résumer du contenu. En résumé, l'intelligence artificielle peut être utilisée pour la modélisation et la transmission des connaissances de la manière suivante :

- Sélectionner et adapter les activités d'apprentissage.
- Choisir les contenus et activités les plus pertinents pour les apprenants.
- Transmettre des connaissances de manière ciblée.
- Personnaliser les parcours d'apprentissage en temps réel.
- Améliorer l'efficacité des apprentissages collaboratifs en ligne.
- Produire ou enrichir des ressources éducatives numériques.

5 Conclusion

L'IA représente une transformation majeure dans le domaine de l'éducation, ayant un impact significatif sur le rôle des enseignants, sur la manière dont les apprenants apprennent, ainsi que sur la transmission des savoirs. Cette revue systématique a montré que l'IA permettait d'automatiser les tâches administratives des enseignants, de personnaliser l'enseignement et de mieux répondre aux besoins spécifiques des apprenants. Cependant, son intégration soulève des défis, notamment le manque de compétences numériques et les préoccupations éthiques liées à la protection des données. Ces obstacles soulignent l'importance de la formation continue et du soutien aux enseignants pour permettre une adoption efficace de l'IA dans la pratique pédagogique.

Pour les apprenants, l'IA constitue un outil puissant qui permet d'améliorer les compétences et d'optimiser l'apprentissage grâce à des parcours personnalisés et à une analyse en temps réel des performances. Néanmoins, il est essentiel de maintenir un équilibre entre l'utilisation de ces outils et l'autonomie des apprenants, afin d'éviter une dépendance excessive.

Enfin, l'IA joue un rôle central dans la transmission des savoirs, notamment en facilitant la modélisation et l'adaptation des contenus pédagogiques. Cependant, une réflexion éthique approfondie est nécessaire pour garantir une utilisation responsable de l'IA dans le domaine de l'éducation, en veillant à ce que les systèmes soient inclusifs et équitables. L'avenir de l'éducation dépend de notre capacité à maximiser les avantages de l'IA tout en répondant de manière équilibrée aux exigences pédagogiques et éthiques.

Références

1. M. Chassignol, A. Khoroshavin, A. Klimova, and A. Bilyatdinova, "Artificial Intelligence trends in education: a narrative overview," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 136, pp. 16–24, Jan. (2018), doi: 10.1016/J.PROCS.2018.08.233.
2. T. Baker et al., "Educ-AI-tion Rebooted? Exploring the future of artificial intelligence in schools and colleges," (2019), [Online]. Available: www.nesta.org.uk
3. C. C. Aggarwal, "Neural Networks and Deep Learning," *Neural Netw. Deep Learn.*, (2018), doi: 10.1007/978-3-319-94463-0.
4. S. A. D. Popenici and S. Kerr, "Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education," *Res. Pract. Technol. Enhanc. Learn.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–13, Dec. (2017), doi: 10.1186/S41039-017-0062-8/METRICS.

5. M. Alloghani, D. Al-Jumeily, J. Mustafina, A. Hussain, and A. J. Aljaaf, "A Systematic Review on Supervised and Unsupervised Machine Learning Algorithms for Data Science," pp. 3–21, (2020), doi: 10.1007/978-3-030-22475-2_1.
6. D. Clark, *Artificial intelligence for learning: how to use AI to support employee development.* (2020), p. 320.
7. N. T. Heffernan and C. L. Heffernan, "The ASSISTments ecosystem: Building a platform that brings scientists and teachers together for minimally invasive research on human learning and teaching," *Int. J. Artif. Intell. Educ.*, vol. 24, no. 4, pp. 470–497, Oct. (2014), doi: 10.1007/S40593-014-0024-X/FIGURES/7.
8. L. Chen, P. Chen, and Z. Lin, "Artificial Intelligence in Education: A Review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 75264–75278, (2020), doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988510.
9. I. Roll and R. Wylie, "Evolution and Revolution in Artificial Intelligence in Education," *Int. J. Artif. Intell. Educ.*, vol. 26, no. 2, pp. 582–599, Jun. (2016), doi: 10.1007/S40593-016-0110-3/TABLES/8.
10. Z. Swiecki, A. R. Ruis, D. Gautam, V. Rus, and D. Williamson Shaffer, "Understanding when students are active-in-thinking through modeling-in-context," *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 50, no. 5, pp. 2346–2364, Sep. (2019), doi: 10.1111/BJET.12869.
11. S. Yuan, T. He, H. Huang, R. Hou, and M. Wang, "Automated Chinese Essay Scoring Based on Deep Learning," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 65, no. 1, pp. 817–833, Jul. (2020), doi: 10.32604/CMC.2020.010471.
12. F. Qin, K. Li, and J. Yan, "Understanding user trust in artificial intelligence-based educational systems: Evidence from China," *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 51, no. 5, pp. 1693–1710, Sep. (2020), doi: 10.1111/BJET.12994.
13. D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, and D. G. Altman, "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement," *Int. J. Surg.*, vol. 8, no. 5, pp. 336–341, Jan. (2010), doi: 10.1016/j.ijvsu.2010.02.007.
14. S. Z. Salas-Pilco, K. Xiao, and X. Hu, "Artificial Intelligence and Learning Analytics in Teacher Education: A Systematic Review," *Educ. Sci.*, vol. 12, no. 8, (2022), doi: 10.3390/educsci12080569.
15. I.-A. Chounta, E. Bardone, A. Raudsep, and M. Pedaste, "Exploring Teachers' Perceptions of Artificial Intelligence as a Tool to Support their Practice in Estonian K-12 Education," *Int. J. Artif. Intell. Educ.*, vol. 32, no. 3, pp. 725–755, (2022), doi: 10.1007/s40593-021-00243-5.
16. P. Lameris and S. Arnab, "Power to the Teachers: An Exploratory Review on Artificial Intelligence in Education," *Inf. Switz.*, vol. 13, no. 1, (2022), doi: 10.3390/info13010014.
17. T. K. F. Chiu, B. L. Moorhouse, C. S. Chai, and M. Ismailov, "Teacher support and student motivation to learn with Artificial Intelligence (AI) based chatbot," *Interact. Learn. Environ.*, (2023), doi: 10.1080/10494820.2023.2172044.
18. S. Polak, G. Schiavo, and M. Zancanaro, "Teachers' Perspective on Artificial Intelligence Education: an Initial Investigation," presented at the Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, (2022). doi: 10.1145/3491101.3519866.
19. I. Celik, "Towards Intelligent-TPACK: An empirical study on teachers' professional knowledge to ethically integrate artificial intelligence (AI)-based tools into education," *Comput. Hum. Behav.*, vol. 138, 2023, doi: 10.1016/j.chb.2022.107468.
20. M. Tedre et al., "Teaching machine learning in K-12 Classroom: Pedagogical and technological trajectories for artificial intelligence education," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 110558–110572, (2021), doi: 10.1109/ACCESS.2021.3097962.

21. X. Huang, "Aims for cultivating students' key competencies based on artificial intelligence education in China," *Educ. Inf. Technol.*, vol. 26, no. 5, pp. 5127–5147, (2021), doi: 10.1007/s10639-021-10530-2.
22. W. Bagunaid, N. Chilamkurti, and P. Veeraraghavan, "AISAR: Artificial Intelligence-Based Student Assessment and Recommendation System for E-Learning in Big Data," *Sustain. Switz.*, vol. 14, no. 17, (2022), doi: 10.3390/su141710551.
23. I. Khan, A. R. Ahmad, N. Jabeur, and M. N. Mahdi, "An artificial intelligence approach to monitor student performance and devise preventive measures," *Smart Learn. Environ.*, vol. 8, no. 1, (2021), doi: 10.1186/s40561-021-00161-y.
24. M. Ciolacu, A. F. Tehrani, L. Binder, and P. M. Svasta, "Education 4.0 - Artificial Intelligence Assisted Higher Education: Early recognition System with Machine Learning to support Students' Success," presented at the 2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging, SIITME 2018 - Proceedings, (2018), pp. 23–30. doi: 10.1109/SIITME.2018.8599203.
25. C. S. Chai, P.-Y. Lin, M. S.-Y. Jong, Y. Dai, T. K. F. Chiu, and B. Huang, "Factors Influencing Students' Behavioral Intention to Continue Artificial Intelligence Learning," presented at the Proceedings - 2020 International Symposium on Educational Technology, ISET 2020, (2020), pp. 147–150. doi: 10.1109/ISET49818.2020.00040.
26. F. Ouyang, M. Wu, L. Zheng, L. Zhang, and P. Jiao, "Integration of artificial intelligence performance prediction and learning analytics to improve student learning in online engineering course," *Int. J. Educ. Technol. High. Educ.*, vol. 20, no. 1, (2023), doi: 10.1186/s41239-022-00372-4.
27. R. Yilmaz and F. G. Karaoglan Yilmaz, "The effect of generative artificial intelligence (AI)-based tool use on students' computational thinking skills, programming self-efficacy and motivation," *Comput. Educ. Artif. Intell.*, vol. 4, (2023), doi: 10.1016/j.caeai.2023.100147.
28. C. S. Chai, P.-Y. Lin, M. S.-Y. Jong, Y. Dai, T. K. F. Chiu, and J. Qin, "Perceptions of and Behavioral Intentions towards Learning Artificial Intelligence in Primary School Students," *Educ. Technol. Soc.*, vol. 24, no. 3, pp. 89–101, (2021).
29. W. Yang, "Artificial Intelligence education for young children: Why, what, and how in curriculum design and implementation," *Comput. Educ. Artif. Intell.*, vol. 3, (2022), doi: 10.1016/j.caeai.2022.100061.
30. B. Cope, M. Kalantzis, and D. Searsmith, "Artificial intelligence for education: Knowledge and its assessment in AI-enabled learning ecologies," *Educ. Philos. Theory*, vol. 53, no. 12, pp. 1229–1245, (2021), doi: 10.1080/00131857.2020.1728732.
31. G. Kortemeyer, "Could an artificial-intelligence agent pass an introductory physics course," *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, vol. 19, no. 1, (2023), doi: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010132.
32. B. Williamson, "New digital laboratories of experimental knowledge production: Artificial intelligence and education research," *Lond. Rev. Educ.*, vol. 18, no. 2, pp. 209–220, (2020), doi: 10.14324/LRE.18.2.05.
33. W. Villegas-Ch, A. Arias-Navarrete, and X. Palacios-Pacheco, "Proposal of an Architecture for the Integration of a Chatbot with Artificial Intelligence in a Smart Campus for the Improvement of Learning," *Sustain. Switz.*, vol. 12, no. 4, (2020), doi: 10.3390/su12041500.