

L'Intelligence Artificielle Dans La Formation Des Enseignants Des SVT : Entre Adoption Prometteuse Et Défis Persistants

**Mustapha Laghmari¹, Zahra Zerrouqi², Chaymae Bouzidi³,
Ahlam El Addel⁴, Fatima Zahra Mazza⁵**

^{1,4}Académie Régionale de l'Education et de la Formation de Fès-Meknès, Maroc

²Laboratoire d'Innovation en Sciences, Technologie et Education (LISTE), CRMEF, Oriental, Maroc

³Académie Régionale de l'Education et de la Formation de l'Oriental, Maroc

⁵Académie Régionale de l'Education et de la Formation de Casablanca-Settat, Maroc

Résumé

Cette recherche examine l'intégration pédagogique des outils d'intelligence artificielle (IA) dans la formation initiale des enseignants stagiaires des Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) au Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF) de l'Oriental, Maroc. Dans un contexte marqué par la digitalisation accélérée des écosystèmes éducatifs, l'étude adopte une méthodologie quantitative par questionnaire administré à un échantillon de 106 enseignants stagiaires, afin d'analyser leurs pratiques d'appropriation, les bénéfices perçus et les contraintes d'implémentation.

Les résultats révèlent un taux d'adoption significatif de l'IA, avec une prédominance de ChatGPT pour des applications telles que le développement de supports didactiques, la gestion pédagogique et la recherche documentaire. Si les participants reconnaissent majoritairement la valeur ajoutée de ces technologies pour l'optimisation de leur charge cognitive et l'enrichissement des dispositifs d'apprentissage, l'étude identifie néanmoins des freins substantiels à leur déploiement optimal. Ces obstacles incluent un déficit de formation spécialisée, des limitations infrastructurelles et des préoccupations éthiques relatives à la protection des données et à l'explicabilité des algorithmes.

En conclusion, cette étude préconise l'établissement d'un cadre pédagogique structuré pour l'intégration de l'IA dans la formation des enseignants de SVT aux CRMEF. Cette intégration s'organise selon trois dimensions complémentaires : maîtrise des compétences numériques, consolidation des infrastructures technologiques et adoption de normes éthiques rigoureuses.

Keywords: Intelligence artificielle, enseignants stagiaires, SVT, formation.

Abstract

This research examines the pedagogical integration of artificial intelligence tools in the initial training of Life and Earth Sciences trainee teachers at the Regional Center for Education and Training Professions (CRMEF) of the Oriental region, Morocco. In a context marked by the accelerated digitalization of educational ecosystems, the study employs a quantitative methodology through a questionnaire administered to a sample of 106 trainee teachers, aiming to analyze their adoption practices, perceived be-

nefits, and implementation constraints.

The findings reveal a significant adoption rate of AI, with a predominance of ChatGPT for applications such as developing teaching materials, pedagogical management, and documentary research. While participants largely acknowledge the added value of these technologies for optimizing their cognitive load and enriching learning designs, the study nevertheless identifies substantial barriers to their optimal deployment. These obstacles include a lack of specialized training, infrastructural limitations, and ethical concerns regarding data protection and algorithmic explainability.

The article concludes by highlighting the necessity to develop a framework for the pedagogical integration of AI, structured around three key pillars: the development of advanced digital competencies, the consolidation of technological infrastructures, and the establishment of robust ethical protocols.

Keywords: Artificial Intelligence, trainee teachers, Life and Earth Sciences, training.

1. Introduction

Les outils d'intelligence artificielle (IA) désignent des systèmes technologiques qui simulent l'intelligence humaine grâce à l'apprentissage automatique, au traitement du langage naturel et à l'analyse des données pour effectuer des tâches telles que la résolution des problèmes et la prise de décision (Jean, 2020 ; Russell et Norvig, 2021). L'IA est sans doute la force technologique motrice de la première moitié de ce siècle qui transformera pratiquement toutes les industries, voire les activités humaines dans leur ensemble (Martin et al., 2024). Il serait naïf de penser qu'elle n'aura pas d'impact sur l'éducation (Alotaibi, 2024). En effet, l'avenir de l'éducation sera étroitement lié à l'évolution de l'intelligence artificielle (Chen et al., 2020) qui a la capacité de transformer complètement la manière d'enseigner et d'apprendre (Rudolph et al., 2023).

L'introduction de l'IA dans l'éducation vise à faciliter les tâches des enseignants, leur permettant de les accomplir de manière plus efficiente, favorisant ainsi l'apprentissage (Zhai et al., 2021). Globalement, l'IA a le potentiel d'améliorer considérablement divers éléments ou outils éducatifs, notamment l'apprentissage personnalisé, les évaluations adaptatives, les systèmes de tutorat intelligents, la correction automatisée, l'analyse des données pour la prédiction des performances, l'apprentissage des langues, ainsi que l'accessibilité et l'inclusion (Bond et al., 2024). Selon une étude menée par l'UNESCO (2021), l'IA pourrait jouer un rôle crucial dans la réduction des inégalités éducatives en fournissant un accès élargi aux ressources pédagogiques, en particulier dans les régions défavorisées. De plus, l'utilisation de l'IA dans l'éducation favorise l'acquisition de compétences numériques indispensables dans le marché du travail actuel. En outre, les outils basés sur l'IA sont de plus en plus intégrés aux programmes de formation des enseignants. En effet, dans un monde en perpétuelle évolution technologique, les besoins des enseignants évoluent rapidement. Les méthodes traditionnelles d'enseignement, souvent uniformes et rigides, peuvent être inefficaces pour répondre aux différences individuelles en termes de rythme, de style d'apprentissage et de capacités. C'est dans ce contexte que l'IA s'impose comme une solution innovante, capable d'adapter l'éducation aux besoins spécifiques de chaque individu. En outre, grâce à des scénarios d'enseignement simulés, des retours automatisés et des modules d'apprentissage interactifs, les solutions d'intelligence artificielle aident à améliorer davantage la formation pédagogique (Hwang et al., 2020). En plus d'offrir un aperçu des performances des étudiants, les analyses basées sur l'IA aident les stagiaires à améliorer leurs pratiques pédagogiques et à modifier leurs approches.

Cependant, malgré ces avantages, l'intégration de l'IA dans l'éducation pose plusieurs défis face à son exploitation, tels que la dématérialisation des données, le respect de la vie privée, l'explicabilité des

algorithmes et le risque de dépendance technologique (Chen et al., 2022; Djelti et Kouninef, 2022). Ainsi, il devient essentiel de réduire l'écart entre les avancées technologiques de l'IA et ses applications éducatives et d'inviter les différents acteurs éducatifs et les chercheurs en éducation à participer à la recherche et à l'exploitation de l'IA dans l'éducation (Martin et al., 2024). Au Maroc, plus précisément au sein des Centres Régionaux des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF), il apparaît essentiel d'examiner la manière dont les enseignants stagiaires intègrent l'intelligence artificielle (IA) dans leur parcours de formation. La présente étude se propose d'analyser l'implémentation de l'IA au sein de la formation des enseignants stagiaires en sciences de la vie et de la terre au CRMEF de l'Oriental (Maroc). Elle examine en particulier les pratiques d'appropriation des outils d'IA, leurs applications pédagogiques ainsi que les effets perçus sur le développement professionnel des futurs enseignants. Cette recherche explore également les défis et contraintes rencontrés lors de l'usage de ces technologies, dans l'objectif de formuler des recommandations propices à une intégration réussie, alignées sur les besoins des stagiaires. Les résultats issus de ce travail pourraient éclairer tant les formateurs des CRMEF que les décideurs ministériels en charge de la formation enseignante, contribuant ainsi à l'élaboration de stratégies d'intégration de l'IA dans les curricula de formation.

2. Matériel et méthodes

2.1. Echantillon de recherche

L'échantillon de cette étude est composé de 106 enseignantes stagiaires en sciences de la vie et de la Terre (SVT), ayant effectué leur formation au Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF) de l'Oriental, au Maroc. Les données ont été recueillies auprès des promotions des années académiques 2024 et 2025, sachant que la formation initiale au sein de cet établissement s'étale sur une année. La méthode d'échantillonnage retenue est un échantillonnage de convenance, fondé sur la participation volontaire et libre des individus (Fortin et Gagnon, 2016).

La répartition par sexe montre une prédominance féminine (75 %), contre 25 % de participants de sexe masculin. Concernant le dernier diplôme obtenu, la majorité des individus est titulaire d'une licence (66 %), tandis que 34 % sont titulaires d'un master. Enfin, la très grande majorité des participants (95 %) est spécialisée en biologie, contre seulement 5 % en géologie (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques démographiques de l'échantillon d'étude

Sexe	Masculin	25 %
	Féminin	74 %
Diplôme	Licence	66 %
	Master	34 %
Spécialité	Biologie	95 %
	Géologie	5 %

2.2. Outil de collecte des données

Un questionnaire en ligne a été retenu comme instrument principal de collecte des données. Cet outil a été privilégié pour sa capacité à recueillir, de manière efficiente et économique, des données relatives aux perceptions, attitudes et connaissances des participants. De surcroît, la garantie de l'anonymat, en réduisant les biais de désirabilité sociale, favorise des réponses authentiques.

Le questionnaire structuré comprend quatre sections distinctes. Une introduction présente le cadre et les objectifs de l'enquête. La seconde section vise à établir le profil démographique des répondants au moyen de trois items portant sur le genre, le dernier diplôme obtenu et sa spécialité. La troisième section, constituée de 20 items (incluant des questions fermées, à réponse courte et ouvertes), traite de l'application de l'intelligence artificielle et de son impact perçu sur la formation professionnelle. Enfin, une quatrième partie recense les difficultés rencontrées et sollicite des propositions correctives. L'administration s'est déroulée en ligne via la plateforme Google Forms, sélectionnée pour son accessibilité et sa simplicité d'utilisation.

3. Résultats et discussion

3.1. Fréquence d'adoption et éventail des outils d'IA mobilisés en formation

Les résultats de l'étude ont révélé que la majorité écrasante (99 %) des participants a utilisé des outils d'IA pendant la formation. Cela implique une familiarité générale avec cette technologie, à l'instar des travaux de Romero (2023) et de Napal Fraile et Badiola (2024). Les fréquences d'utilisation des outils d'IA hebdomadaire (41 %) et quotidienne (38 %) dominent (Figure 1), reflétant une intégration régulière de l'IA dans les activités de formation. Ces variations de fréquence d'utilisation peuvent s'expliquer par des différences dans les compétences numériques, les besoins pédagogiques ou l'accès aux technologies (Chiu et al., 2023).

ChatGPT est l'outil le plus populaire (98 % des utilisateurs) suivi par Gemini (37 %), Copilot (24 %) et Deepseek (16 %). D'autres outils IA sont faiblement utilisés (2 % environ) tels que Claude, Gamma, Xmind, Canva et Perplexity.AI (Figure 2).

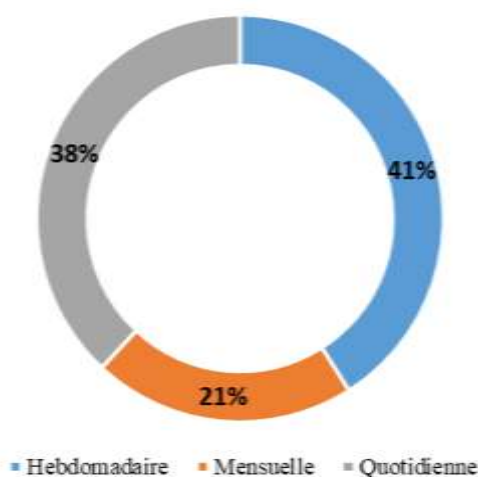


Figure 1. Fréquence d'utilisation des outils d'IA par les enseignants stagiaires

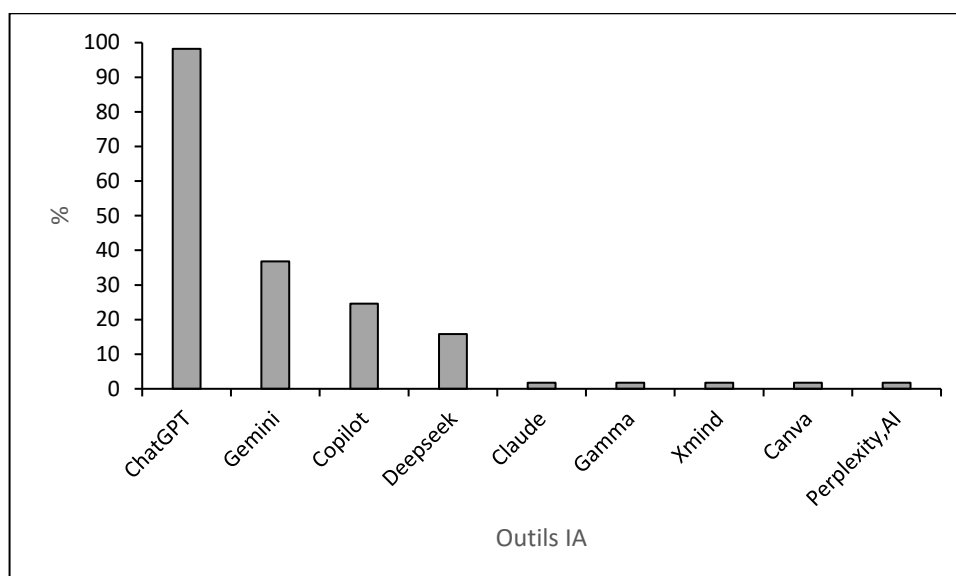


Figure 2. Spectre des applications d'IA mobilisées par les enseignants stagiaires

ChatGPT (Generative Pre-trained Transformer) est un modèle de langage avancé développé par OpenAI. Il utilise des techniques d'apprentissage profond pour générer du texte cohérent et contextuellement pertinent à partir des invites fournies par l'utilisateur. ChatGPT émerge comme l'outil d'IA le plus utilisé par les enseignants stagiaires. Cela s'explique par sa facilité d'utilisation, sa polyvalence et sa capacité à répondre rapidement à des tâches variées (Farrelly et Baker, 2023). De manière similaire, Matthew et al. (2023) indiquent que les étudiants utilisent ChatGPT comme un assistant personnel d'apprentissage parce qu'il est facile à utiliser et permet de répondre à une grande variété de questions éducatives. Ce chatbot d'intelligence artificielle prédictive est capable de comprendre et de produire du texte en langage naturel, et donc d'engager des conversations avec l'utilisateur (Aydın et al., 2023). Une autre étude a démontré que l'utilisation pédagogique de ChatGPT a produit des résultats positifs en termes de compétences spécifiques à la matière, de culture numérique et de facteurs psychologiques tels que la motivation (Almasri, 2024). En 2023, près de la moitié des étudiants de certaines universités étrangères ont reconnu avoir utilisé ChatGPT comme assistant pour leurs travaux universitaires (Hennessey, 2024). D'autres possibilités d'utilisation de ChatGPT dans l'enseignement supérieur comprennent l'innovation en matière d'évaluation, de soutien pédagogique et de soutien à l'apprentissage à distance (Sok et Heng, 2024).

3.2. Applications pédagogiques et impacts de l'IA sur la formation

3.2.1. Applications pédagogiques de l'IA

Les enseignants stagiaires ont indiqué que les modules pour lesquels l'IA était la plus utile sont la Didactique et la Production didactique (72 %) (Figure 3) ce qui peut être attribué au fait que l'IA facilite les tâches liées à la production des cartes mentales, des situations didactiques telles que la situation de départ ou la situation problème ou situation d'évaluation, en particulier grâce à sa capacité à générer du contenu adapté à divers styles d'apprentissage (Slimi, 2023). Plusieurs études ont démontré l'usage de l'IA en didactique des sciences. En effet, Peikos et Stavrou (2025) ont montré que les enseignants des sciences du primaire en Grèce ont utilisé ChatGPT-4 via des invites en couches pour traiter les idées fausses des élèves dans un cadre pédagogique. Des études comme celles de Prentzas et Sidiropoulou

(2023), de Perna et al. (2024) et d'Al Abri et al. (2025) ont démontré l'usage de l'IA dans la cartographie conceptuelle.

En outre, l'IA est utilisée dans le module de la Recherche pédagogique par 56 % des enseignants stagiaires. Pour le module de la gestion des apprentissages, près de la moitié des participants (47 %) trouvent l'IA utile pour ce module, ce qui pourrait inclure la gestion de la classe ou l'organisation des activités pédagogiques. En outre, environ le tiers des enseignants stagiaires utilisent les outils IA dans les modules de Complément de formation (37,7 %) et TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement) (30,2 %), ce qui met en évidence l'utilisation de l'IA pour la clarification des concepts de base et l'exploration des approches numériques dans l'enseignement.

Le module de planification affiche un taux d'utilisation de l'IA significativement plus faible (27,4 %). Cette statistique indique que l'outil n'y est sollicité que de manière épisodique, vraisemblablement pour des tâches spécifiques comme la conception de leçons ou l'élaboration de fiches pédagogiques.

Cependant, plusieurs travaux ont souligné l'usage des outils IA dans la génération des plans de cours (Abualrob, 2025 ; Feldman-Maggor, 2024 ; Van den Berg, 2023). Par ailleurs, d'autres études ont mentionné le rôle de GenAI dans la formulation d'hypothèses, la conception expérimentale, en utilisant des invites en couches pour identifier et traiter les idées fausses des élèves dans un cadre pédagogique (Peikos et Stavrou, 2025 ; Blonder et al., 2024). Par ailleurs, Bae et al. (2024) décrivent l'usage du ChatGPT pour le brainstorming et la réduction de l'anxiété liée à la planification chez les enseignants du premier cycle. De telles approches innovantes, s'inscrivant dans la lignée de l'enseignement centré sur l'apprenant (Airaj, 2024), permettraient aux étudiants de s'engager plus activement dans un apprentissage par investigation tout en développant leurs compétences en résolution des problèmes et en interprétation des données (Wang et al., 2024 ; Zhai et al., 2024).

Les modules Sciences de l'éducation (22,6 %), Evaluation des apprentissages (16 %) et Stages de formation (13,2 %) semblent bénéficier moins fréquemment de l'IA. Cela pourrait être dû à un manque de sensibilisation des stagiaires aux potentiels de l'IA dans ces modules. Ces résultats sont en opposition avec plusieurs études antérieures. En effet, Doorsamy et al. (2025) ont démontré l'utilisation de ChatGPT et Copilot pour générer et évaluer des questions de quiz en appliquant les taxonomies de Bloom. En simulant des problèmes scientifiques concrets, GenAI encourage les apprenants à appliquer concrètement leurs connaissances théoriques. Cette approche permet de combler le fossé entre les concepts abstraits et leurs applications, notamment dans les domaines des STEM (Cheng et al., 2024).

Cette étude corrobore l'argument avancé par Chen et al. (2023), qui concluent que l'IA, combinée à une expérience réelle en classe, améliore les compétences pratiques et l'enseignement réflexif. Leurs résultats confirment qu'une expérience intégrée en IA peut permettre aux futurs enseignants de passer du statut d'utilisateurs passifs à celui d'innovateurs actifs de la pédagogie améliorée par l'IA et que l'IA pourrait être utilisée pour répondre aux besoins de formation des enseignants dans certaines matières.

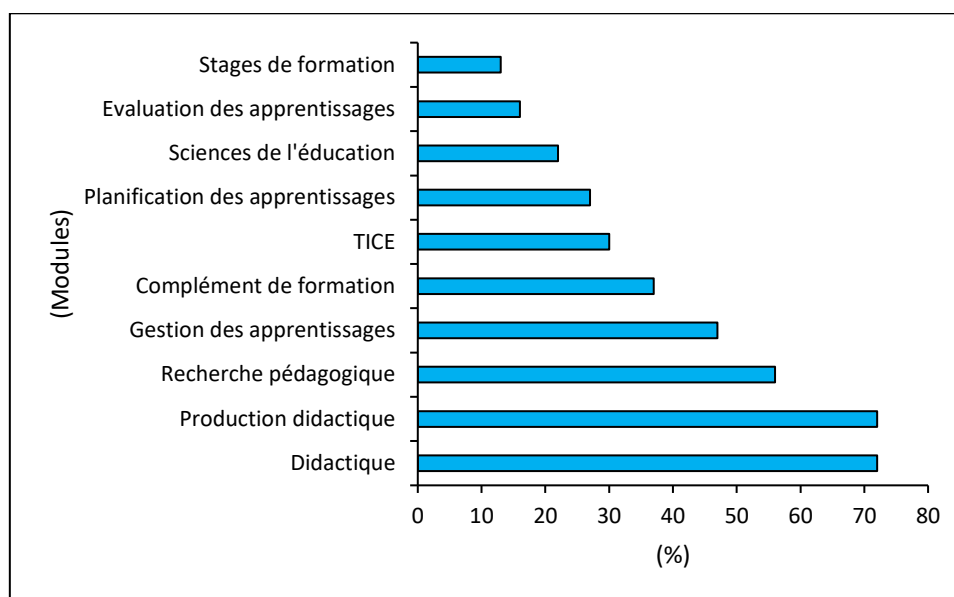


Figure 3. Usage de l'IA dans les modules de formation

3.2.2. Impact de l'IA sur la formation des enseignants

Une large majorité des enseignants stagiaires (82 %) estiment que l'IA a eu un impact positif sur leur formation, tandis que 18 % restent neutres, confirmant ainsi l'apport globalement bénéfique de ces outils. L'attitude positive des enseignantes stagiaires vers les outils de l'IA peut être interprétée par des expériences d'utilisation réussies, un sentiment d'amélioration des compétences pédagogiques et une curiosité pour les nouvelles technologies. Cette observation est cohérente avec des résultats similaires trouvés dans des contextes éducatifs différents. En effet, Sánchez-Prieto et al. (2020) ont montré que l'utilité perçue et la facilité d'utilisation étaient des déterminants clés de l'attitude positive des élèves envers les outils technologiques. Par contre, l'attitude négative envers l'IA pourrait être liée au manque de formation et de compréhension des étudiants du fonctionnement des outils d'IA (Chau et al., 2025).

a. Impact sur les activités de formation

Concernant l'impact positif de l'IA, les enseignants stagiaires des SVT le perçoivent principalement dans la rédaction de rapports (environ 70 %), la correction des productions didactiques (65 %) (Figure 4) et la préparation des exposés (60 %). Les résultats de cette étude révèlent que l'usage de l'IA par les enseignants stagiaires est principalement décelé à travers le prisme du gain de productivité. Cette tendance est en accord direct avec la littérature existante, qui identifie la génération de contenu et la planification comme des cas d'usage courants et documentés (Bae et al., 2024 ; Lee et Zhai, 2024). Le fait que plus de la moitié des stagiaires perçoivent un impact positif dans la rédaction de rapports et dans la correction corrobore les conclusions de Bae et al. (2024), qui ont constaté que les enseignants en formation utilisent ChatGPT pour le brainstorming, l'affinage des écrits et la réduction de l'anxiété liée à la planification.

En outre, presque la moitié des enseignants stagiaires (46 %) reconnaissent l'utilité de l'IA dans la préparation des expériences, ce qui suggère leur capacité de tirer parti des atouts de l'IA pour simuler ou planifier des expériences. Les résultats trouvés corroborent avec les études de Ramnarain et al. (2024) et de Cooper et al. (2025) qui ont montré que la force des outils comme ChatGPT réside dans leur capacité à soutenir l'apprentissage par investigation en aidant à formuler des hypothèses et à simuler des procédures expérimentales, identifier et traiter les idées fausses des élèves via un dialogue structuré et un questionnement en couches (Peikos et Stavrou, 2025 ; Blonder et al., 2024) ainsi que modéliser la pensée

scientifique.

Ces constats soulignent le rôle croissant de l'IA comme outil d'accompagnement pédagogique, facilitant la réalisation de tâches souvent chronophages. Cette dynamique est en cohérence avec les résultats de Wang et al. (2024), qui mettent en avant l'IA comme assistant capable de générer des contenus, d'adapter les ressources aux besoins des apprenants et de proposer des scénarios personnalisés. Toutefois, si la perception limitée de son impact dans des domaines spécialisés comme l'analyse des données (32 %) peut laisser penser que son usage pour des tâches cognitives complexes reste marginal, des applications concrètes démontrent déjà son potentiel dans ce domaine. Par exemple, les systèmes d'analyse fondés sur l'IA permettent de mettre en évidence les difficultés des élèves, aidant ainsi les enseignants à adapter leurs programmes (Zawacki-Richter et al., 2019). De même, des outils capables de reproduire des situations de classe offrent aux enseignants stagiaires la possibilité de perfectionner leurs techniques pédagogiques dans un contexte sécurisé (Kumar et al., 2021).

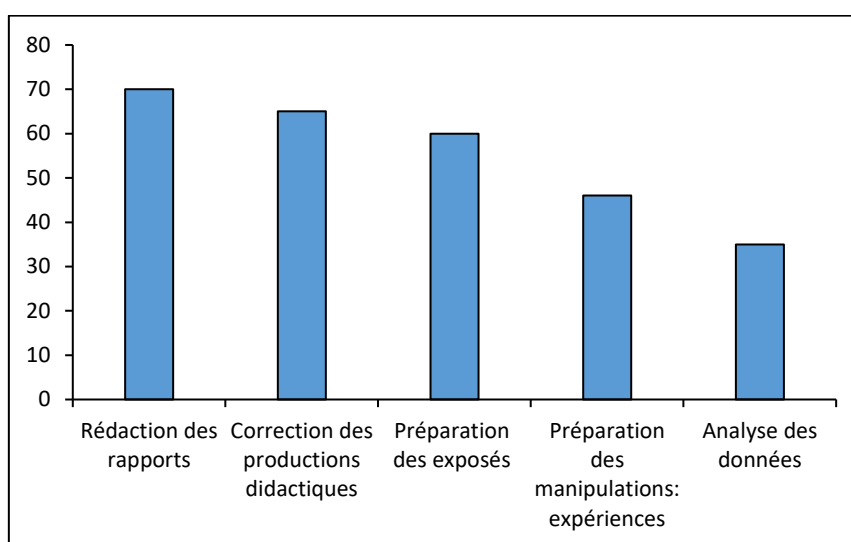


Figure 4. Activités pour lesquelles l'IA a eu un impact positif

De plus, l'intégration de GenAI favorise une culture de la curiosité et de l'exploration chez les élèves, soutenant ainsi leur développement en tant que futurs scientifiques et ingénieurs (Almasri, 2024).

b. Impact sur la charge de la formation

L'utilisation de l'IA a eu un effet notable sur la charge de formation des enseignants stagiaires. En effet, 69% des stagiaires perçoivent une réduction de la charge de formation grâce à l'IA (Figure 5). Cette tendance est soutenue par les travaux de Nehm (2024), qui a insisté sur le potentiel de l'IA à automatiser certaines tâches comme la recherche, la correction ou la planification de cours. Toutefois, 18 % des répondants ont constaté une augmentation de la charge, ce qui peut s'expliquer par le temps d'apprentissage ou d'adaptation aux outils de l'IA. Enfin, 13 % n'ont noté aucun changement.

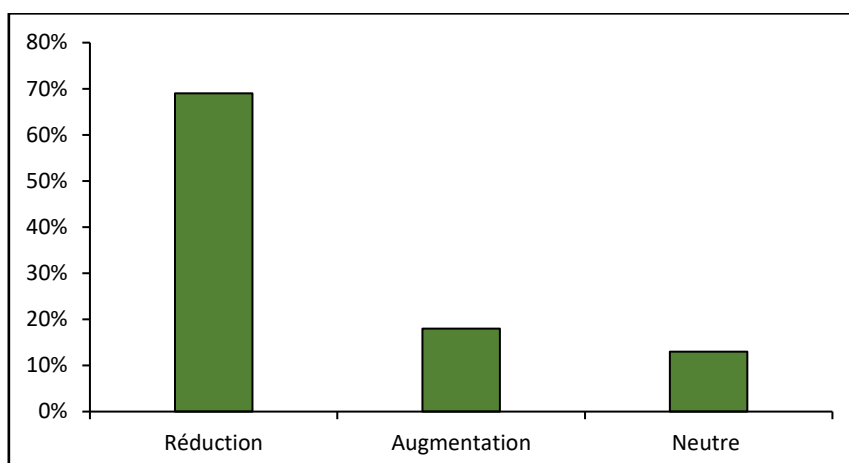


Figure 5. Impact de l'IA sur la charge de la formation

c. Impact sur le travail collaboratif

L'intégration des outils d'IA semble avoir eu un impact positif sur le travail collaboratif, avec 66 % des stagiaires affirmant qu'elle a facilité les échanges. Cette perception rejoint l'étude de Chen et al. (2022), qui a montré que l'IA, à travers ses fonctionnalités collaboratives, renforce l'interaction entre les enseignants et les apprenants, et soutient la co-construction de savoirs. En revanche, 34 % des répondants se montrent neutres, ce qui pourrait indiquer une utilisation limitée ou peu structurée de ces outils en contexte collaboratif.

3.2.3. Atouts de l'IA perçus par les enseignants stagiaires

Les résultats de l'étude ont montré que la majorité des enseignants stagiaires considèrent la rapidité des réponses (environ 80 %) et l'accessibilité aux informations (≈ 65 %) comme les aspects les plus utiles de l'IA durant leur formation (Figure 6), reflétant un usage tourné vers l'optimisation de tâches préparatoires chronophages. Viennent ensuite les idées d'activités ou de projets. Cette tendance rejoint l'étude de Bauer et al. (2025), qui a révélé que les enseignants débutants perçoivent souvent l'IA comme un moyen de réponse immédiate, notamment dans des situations de préparation de cours ou de compréhension rapide de notions. Ceci est également confirmé par Johnson et Patel (2020), qui ont montré que les technologies d'IA ont réduit le temps nécessaire à la notation de près de 50 % des futurs enseignants des sciences. En outre, les travaux d'Al-Hassan et Thompson (2022) ont montré une augmentation de 40 % des scores d'efficacité des plans de cours, une réduction du temps de préparation de 35 % et une atteinte facile des objectifs du programme. Cela reflète un usage principalement tourné vers l'efficacité et le gain de temps. En revanche, la personnalisation et l'interactivité (25,4 %) et la résolution de problèmes pédagogiques (15,2 %) sont les moins citées, ce qui montre un usage encore limité de l'IA dans les dimensions plus complexes ou spécialisées de la formation. Ainsi, nos résultats font ressortir un décalage significatif avec le plein potentiel pédagogique de l'IA tel que décrit dans la bibliographie.

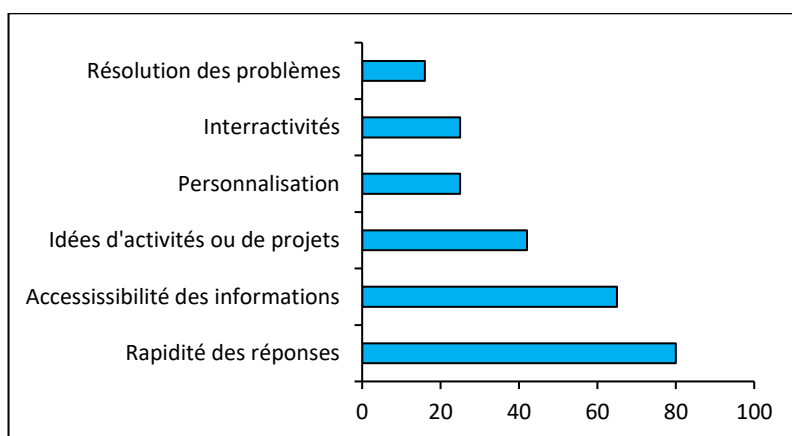


Figure 6. Aspects de l'IA les plus utiles dans la formation

La faible citation de la personnalisation (25,4 %) va à l'encontre des conclusions d'études qui positionnent l'IA comme un outil capable de faciliter la personnalisation de l'enseignement et de fournir un retour d'information adapté au rythme de chaque apprenant (Wahyono et al., 2019 ; Kotsis, 2024). Ce décalage suggère que les stagiaires n'exploitent pas encore les fonctionnalités les plus avancées qui feraient de l'IA un véritable levier pour la différenciation pédagogique. Les enseignants exploitent des outils basés sur l'IA, tels que les systèmes de tutorat intelligents, pour fournir un retour d'information personnalisé, s'adaptant au rythme et au style d'apprentissage de chaque élève. De même, Shute et Rahimi (2017) ont souligné que les systèmes d'évaluation augmentés par l'IA peuvent également fournir un feedback personnalisé à grande échelle.

En matière d'interactivité pédagogique, l'intelligence artificielle offre désormais des capacités avancées pour la conception de supports d'apprentissage diversifiés. La génération de contenu innovant a été documentée dans plusieurs études : Pellas (2025) a ainsi exploré l'utilisation d'outils de génération vidéo tels que Visla et Jasper pour améliorer la rétention des connaissances, tandis que Ceylan et Karakus (2024) ont décrit la conception d'une application mobile dédiée à l'identification botanique et à la création d'herbiers virtuels.

Par ailleurs, le potentiel pédagogique de ChatGPT a été démontré dans la création de supports dynamiques, incluant des questionnaires interactifs et des plans de cours alignés sur les modèles d'apprentissage par investigation (Goodman et al., 2024 ; Powell et Courchesne, 2024). Ces différentes applications viennent renforcer les approches expérientielles en permettant aux apprenants d'explorer les concepts scientifiques de manière interactive (Wahyono et al., 2019 ; Kotsis, 2024).

3.3. Difficultés et limites de l'usage de l'IA

L'analyse du graphique de la figure 7 révèle que 60 % des enseignants stagiaires ont été confrontés à des difficultés lors de l'utilisation de l'IA dans leur formation, contre 40 % n'ayant rencontré aucun problème. Ces résultats mettent en lumière des défis récurrents liés à l'intégration des outils d'IA dans un contexte pédagogique.

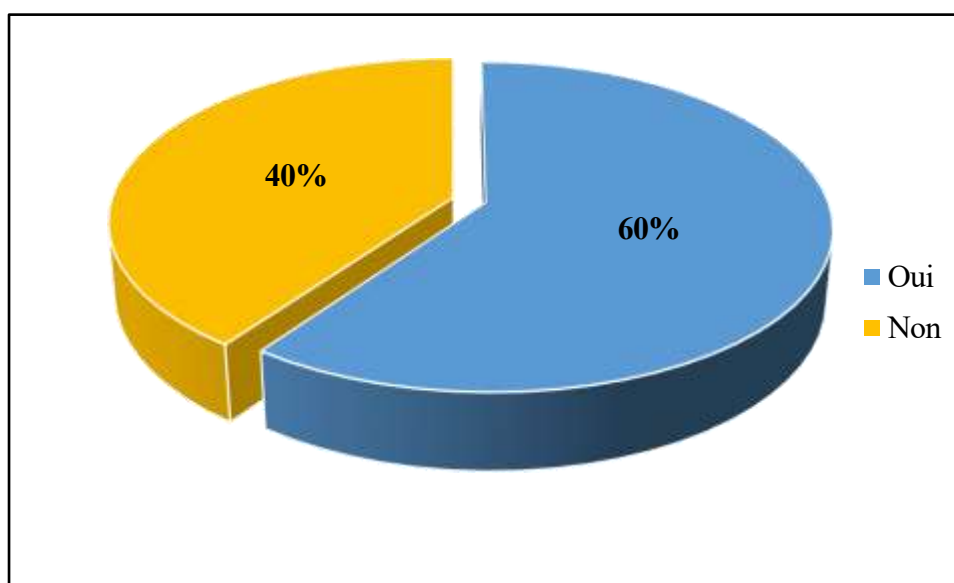


Figure 7. Proportion des stagiaires ayant rencontré des difficultés lors de l'usage de l'IA

La figure 8 renseigne sur les principales difficultés rencontrées par les stagiaires de la discipline des SVT du CRMEF lors de l'utilisation de l'IA dans leur formation. En effet, les difficultés les plus fréquentes sont la formulation des consignes, la fiabilité des informations, l'accès limité aux outils IA et la personnalisation. Viennent ensuite successivement le déficit de formation en IA, les préoccupations éthiques et la dépendance technologique. Ces défis s'inscrivent dans un contexte plus large de préoccupations identifiées dans la littérature scientifique concernant l'intégration pédagogique des outils d'intelligence artificielle.

3.3.1. La formulation des consignes

La difficulté concernant la formulation des consignes (36 %) reflète un défi technique et pédagogique important (Figure 8). Comme le note Pernaa et al. (2024), les enseignants stagiaires manquent souvent de formation sur l'élaboration d'invites (prompts) efficaces et sur l'optimisation de leur interaction avec les systèmes d'IA. Ce manque de maîtrise technique limite leur capacité à tirer pleinement parti du potentiel pédagogique de ces outils.

3.3.2. La fiabilité et la crédibilité des informations

La question de la fiabilité des informations générées par l'IA représente une préoccupation majeure pour 33% des stagiaires, ce qui rejoint les conclusions de plusieurs études. Comme l'ont constaté Bae et al. (2024) et Doorsamy et al. (2025), les enseignants en formation expriment des hésitations face à la tendance de l'IA à produire des informations erronées. En outre, Ramnarain et al. (2024) ont documenté des incidents où le GenAI produisait du contenu biaisé ou scientifiquement inexact, soulignant le risque de désinformation lorsque les outils sont utilisés sans esprit critique.

3.3.3. L'accès limité aux outils IA

L'accès limité aux outils IA demeure une difficulté non négligée qui entrave une exploitation efficace des solutions d'IA. Ceci inclut l'accès limité à une connexion internet stable et les problèmes de configuration, de compatibilité logicielle et de résolution d'erreurs. Cette situation n'est pas différente de ce qui a été rapporté dans des études menées dans d'autres pays du monde où les limites des algorithmes, les défis au niveau de la technologie, ainsi que les coûts élevés associés à la mise en œuvre et à la maintenance des technologies d'IA dans les établissements d'enseignement constituent des obstacles importants à

l'application de l'IA dans les milieux éducatifs (Duarte et al., 2023; Xu et al., 2025 ; Rabiati et al., 2024, Alenezi, 2024).

3.3.4. La personnalisation

La difficulté concernant la personnalisation insuffisante des réponses de l'IA (22 %) met en lumière les limitations actuelles de ces technologies à s'adapter aux contextes pédagogiques spécifiques. Comme l'ont observé Sok et Heng (2024), bien que l'IA puisse théoriquement libérer du temps pour des tâches cognitivement plus exigeantes, dans la pratique, elle peine à répondre aux besoins différenciés des utilisateurs. Cette limitation peut expliquer pourquoi les enseignants restent réticents à déléguer certaines fonctions comme la notation ou le feedback personnalisé. Par ailleurs, Rodriguez et Kim (2021) ont étudié l'utilisation des algorithmes d'apprentissage adaptatif pour le développement professionnel personnalisé des enseignants dans leur étude de 2021. Les résultats ont montré que les personnes bénéficiant d'un retour personnalisé de l'IA ont acquis des compétences 30 % plus rapidement que celles ayant suivi un programme traditionnel. Toutefois, il est crucial de noter que cette personnalisation doit être accompagnée d'une vigilance éthique pour éviter des biais algorithmiques et garantir une éducation équitable (Alali et wardat, 2024).

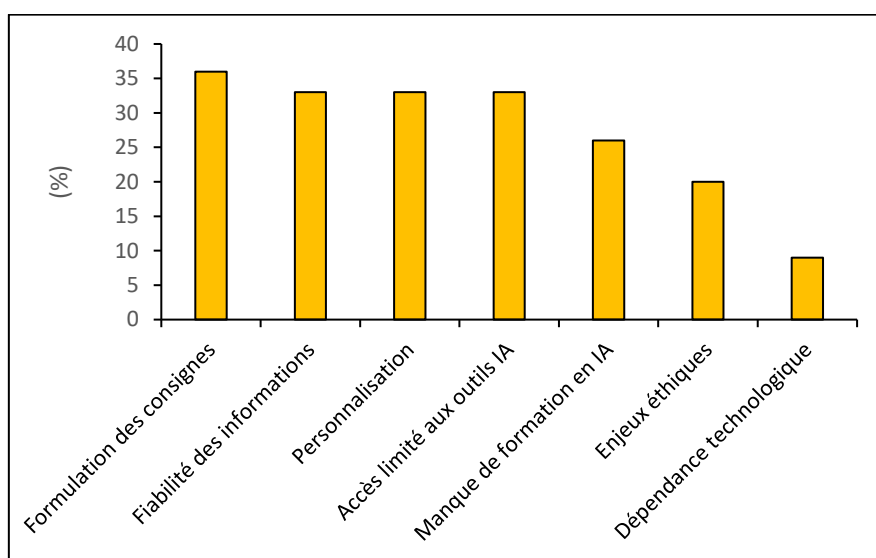


Figure 8. Difficultés rencontrées lors de l'utilisation de l'IA

3.3.5. Le déficit de formation en IA

Le déficit de formation et de connaissances spécialisées en IA est rapporté par 26% des stagiaires questionnés. Ces résultats reflètent des tendances similaires à d'autres recherches sur l'IA éducative, où les éducateurs ont manifesté un besoin d'une formation adéquate pour mettre en œuvre efficacement les outils d'IA, car leur manque actuel de familiarité peut contribuer aux difficultés des stagiaires (Alali et Wardat, 2024). En plus, dans une enquête menée auprès de médecins stagiaires de troisième cycle, 92 % des personnes interrogées ont un manque de confiance généralisé quant à leur capacité à utiliser l'IA de manière efficace (Banerjee et al., 2021).

Ce manque de formation limite la compréhension et la capacité des étudiants à utiliser efficacement l'IA, ce qui nécessite des initiatives pédagogiques plus larges pour améliorer leurs connaissances et leurs compétences. Une étude effectuée par Daife et Elharbaoui (2025) révèle que les étudiants marocains sont confrontés à des défis techniques et à un manque de formation lorsqu'ils utilisent les outils d'IA dans

l'enseignement. Ces difficultés entravent leur capacité à exploiter pleinement le potentiel de l'IA (Ismaili, 2024) pour personnaliser l'apprentissage. Ces résultats soulignent la nécessité d'une initiation structurée à ces nouvelles technologies. En effet, l'intégration réussie de l'intelligence artificielle dans la formation enseignante nécessite une approche systémique combinant accès facilité aux technologies, développement des compétences numériques et résolution des contraintes techniques et infrastructurelles. De nombreux programmes ont intégré les outils de l'IA Gen dans leurs structures pédagogiques, allant des ateliers optionnels aux cours de méthodologie scientifique de base (Wang et al., 2024).

3.3.6. Les enjeux éthiques

Cette étude révèle que 20 % des enseignants stagiaires se déclarent préoccupés par les questions éthiques (Figure 8). Cette faible préoccupation éthique pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs tels que le manque de formation aux enjeux éthiques du numérique, la confiance excessive dans les réglementations existantes, ou la méconnaissance des potentielles dérives de ces technologies. Ce résultat contraste fortement avec les mises en garde répétées dans la littérature scientifique. Comme le notent Adams et al. (2022), Airaj (2024) et Tang et al. (2024), les algorithmes d'IA sont entraînés sur de vastes ensembles de données susceptibles de contenir des biais désavantageant les groupes sous-représentés et risquant d'exacerber les inégalités éducatives et de déformer les faits scientifiques. Comme le notent Karataş et Yüce (2024), la plupart des enseignants stagiaires manquent de préparation formelle pour identifier et éviter les pièges éthiques liés à l'utilisation de l'IA. De plus, Selwyn (2019) et Ramnarain et al. (2024) soulignent également les risques importants liés à la confidentialité des données, particulièrement préoccupants dans les systèmes d'apprentissage personnalisés qui collectent des données sensibles sur les utilisateurs (Airaj, 2024 ; Tang et al., 2024 ; Ouahani et Mahraj, 2025). Au Maroc, l'absence d'une infrastructure nationale de cloud computing présente des risques pour la confidentialité et la sécurité des données, ce qui complique encore l'adoption de l'IA dans l'enseignement local (Roumate, 2023). Face à ces enjeux, des auteurs comme Adel et al. (2024) et Burton et al. (2017) insistent sur la nécessité de lignes directrices éthiques et de formations spécifiques pour les enseignants, afin de promouvoir une utilisation responsable de l'IA tout en préservant l'intégrité pédagogique et le bien-être des élèves. Comme le soutiennent plusieurs chercheurs, les enseignants de demain doivent être des consommateurs critiques et des utilisateurs consciencieux de l'IA, prêts à guider leurs futurs élèves dans un environnement d'apprentissage optimisé par l'IA (Kohnke et Zou, 2025 ; Blonder et al., 2024).

3.3.7. La dépendance technologique

Bien que la dépendance technologique soit la moins signalée (9 %), elle représente une préoccupation substantielle identifiée dans la littérature. En effet, Selwyn (2019) et Karataş et Yuce (2024) soulignent les risques d'une dépendance excessive à la technologie qui pourrait détériorer les capacités de pensée indépendante et de communication efficace. En outre, Folmeg et al. (2024) et Zhai (2022) soulignent que cette dépendance risque de transformer les étudiants en récepteurs passifs d'informations, compromettant leur capacité à évaluer les connaissances de manière critique. Prentzas et Sidiropoulou (2023) ajoutent que la dépendance excessive à l'IA s'accompagne de préoccupations concernant le plagiat et l'honnêteté académique. Cette appréhension est si significative que certaines institutions ont interdit l'accès à ChatGPT sur leurs réseaux éducatifs, reflétant des craintes plus larges quant aux impacts négatifs sur l'apprentissage (Gonzalo, 2023 ; Sok et Heng, 2024).

3.4. Attentes et pistes d'amélioration pour une intégration réussie de l'IA

La réussite de l'intégration de l'IA dans la formation des enseignants passe impérativement par une réponse concrète aux attentes fortes des futurs enseignants. Dans ce cadre, plus de la moitié des enseignants stagiaires (64 %) priorisent une formation spécialisée sur l'IA, couvrant à la fois les bases théoriques et les applications pratiques en classe (Figure 9). Cette demande rejoint les recommandations d'Okulu et Muslu (2024) qui soulignent l'importance d'une formation complémentaire incluant la construction de scénarios de simulation et l'utilisation efficace des outils GenAI. Une telle approche permettrait aux futurs enseignants d'exploiter les fonctionnalités avancées des outils IA tel que ChatGPT pour créer des environnements de formation plus riches et faire preuve d'une expertise pédagogique accrue. Des formations formelles sur l'ingénierie des prompts, la vérification des faits des résultats de l'IA et la reconnaissance des biais de l'IA devraient être incluses dans les programmes de formation des enseignants (Spasopoulos et al., 2025 ; Ayanwale et al., 2024).

Par ailleurs, les formateurs devraient intégrer des pistes de réflexion guidée, des discussions de groupe et des retours de mentorat chaque fois que les enseignants utilisent l'IA dans leur travail. Cela fait de GenAI un catalyseur de réflexion plus approfondi qu'un raccourci. Par exemple, après avoir utilisé ChatGPT pour générer un plan de cours, les enseignants stagiaires peuvent s'engager dans un exercice réflexif pour critiquer les suggestions de l'IA, discuter de ce qu'ils ont accepté ou modifié, et justifier ces décisions à la lumière de la pédagogie. Un tel échafaudage contribue à transformer GenAI, d'un simple générateur de contenu, en un partenaire cognitif favorisant la métacognition et le développement professionnel (Lee et Zhai, 2024 ; Cooper et al., 2025).

Une intégration efficace exige que les enseignants stagiaires soient formés à comprendre et à gérer les outils d'IA de manière responsable. Cela implique de développer une maîtrise de base de l'IA (comprendre le fonctionnement de modèles comme ChatGPT, ainsi que leurs forces et leurs limites) et une sensibilisation à l'éthique (aborder les questions de biais, d'intégrité académique et d'accès équitable).

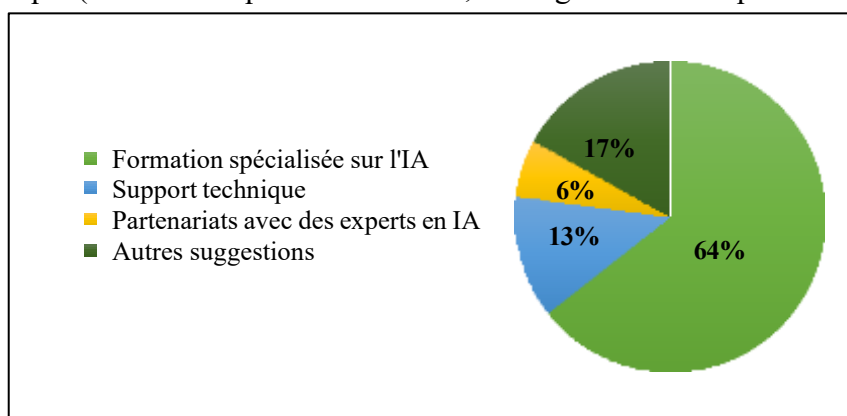


Figure 9. Soutien attendu du centre d'éducation pour intégrer Efficacement l'IA dans la formation

Au-delà des attentes exprimées, plusieurs pistes d'amélioration se dégagent pour une intégration réussie de l'intelligence artificielle (IA) en formation. La question du soutien technique est soulignée par 13 % des stagiaires, qui identifient une connexion internet fiable comme une condition préalable indispensable. Cette exigence est particulièrement cruciale pour la mise en œuvre de simulations en temps réel de phénomènes scientifiques complexes, une pratique soutenue par les travaux de Ng et al. (2024). Parallèlement, une frange des répondants (6 %) préconise la mise en place de partenariats avec des experts en IA. Cette proposition anticipe l'impératif de développer des cadres pédagogiques sur mesure, une

orientation que corroborent les recommandations d'Airaj (2024). Enfin, les suggestions diverses (17 %) reflètent l'hétérogénéité des besoins spécifiques, parmi lesquels émerge avec acuité la nécessité de former à l'esprit critique. Comme le notent Karataş et Yüce et al. (2024), il est essentiel que les futurs enseignants apprennent à évaluer et à valider les données générées par l'IA générative (GenAI), afin de pouvoir à leur tour guider les élèves vers une utilisation à la fois critique et éthique de ces outils.

4. Conclusion

L'étude réalisée au Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF) a révélé une adoption croissante des outils d'intelligence artificielle, notamment ChatGPT, par les enseignants stagiaires en sciences de la vie et de la terre. Ces technologies sont principalement employées pour la conception de supports pédagogiques, la gestion des apprentissages, la rédaction de rapports et la correction des travaux. Les stagiaires affichent généralement une attitude positive et enthousiaste à leur égard. Toutefois, l'intégration de l'IA demeure inégale, freinée par des obstacles techniques, un accès limité, un manque de formation spécialisée et des préoccupations éthiques.

Malgré ces défis, l'IA est perçue comme un levier précieux pour améliorer l'efficacité pédagogique, encourager la collaboration et alléger la charge de travail des enseignants. Dans ce contexte, approfondir la recherche sur l'utilisation de l'IA dans l'éducation devient indispensable. Des travaux futurs pourraient explorer d'autres disciplines pour comparer les usages et les besoins spécifiques selon les spécialités. Par ailleurs, une évaluation plus détaillée de l'impact de l'IA sur le développement des compétences pédagogiques, particulièrement après l'entrée en fonction des enseignants, serait bénéfique.

Le développement de modules de formation spécialisés sur l'IA pourrait renforcer les compétences numériques des enseignants stagiaires, favorisant ainsi une appropriation plus stratégique et responsable de ces outils. Enfin, une analyse approfondie des enjeux éthiques liés à l'utilisation de l'IA dans l'enseignement, couplée à une cartographie des usages les plus efficaces selon les objectifs pédagogiques, pourrait guider les décideurs vers une intégration plus cohérente et équitable de l'intelligence artificielle dans la formation des enseignants. La nécessité des innovations respecte les structures culturelles et éducatives locales tout en répondant aux divers besoins des étudiants (Ejjami, 2024).

La synthèse des résultats suggère plusieurs conditions préalables provisoires pour l'intégration réussie de GenAI dans la formation des enseignants en sciences, conditions qui peuvent être essentielles pour exploiter son potentiel tout en atténuant ses risques.

Biographie des auteurs

Zahra Zerrouqi est Docteur en Sciences de l'Environnement. Elle occupe un poste de formatrice au sein du Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF) de l'Oriental à Oujda, au Maroc.

Mustapha Laghmari, Chaymae Bouzidi, Ahlam El Addel et Fatima Zahra Mazza sont enseignants de Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) dans le cycle secondaire qualifiant. Ils exercent leurs fonctions au sein de différentes Académies Régionales de l'Éducation et de la Formation (AREF) au Maroc.

Références

1. Abualrob, MM. (2025). Enseignement innovant : comment les futurs enseignants utilisent l'intelligence artificielle pour Enseigner les sciences aux élèves de CM1. *Technologie éducative contemporaine*, 17(1), ép. 547.

2. Adams, C., Pente, P., Lemermeier, G., Turville, J., Rockwell, G. (2022). Artificial intelligence and teachers' new ethical obligations. *The International Review of Information*.
3. Adel, A., Ahsan, A. et Davison, C. (2024). Promesses et défis de ChatGPT dans l'éducation : Perspectives computationnelles et éthiques. *Sciences de l'éducation*, 14(8), 1-28.
4. Airaj, M. (2024). Ethical artificial intelligence for teaching-learning in higher education. *Education and Information Technologies*, 29, 17145-1716.
5. Al Abri, M., Al Mamari, A., Al Marzouqi, Z. (2025). Exploring the implications of generative-AI tools in teaching and learning practices. *Journal of Education and E-Learning Research*, 12(1), 31-41.
6. AlAli, R., Wardat, Y. (2024). Opportunities and Challenges of Integrating Generative Artificial Intelligence in Education. *International Journal Of Religion*, 5(7), 784-793.
7. Alenezi, W. (2024). Potentiality and Apprehensions of Artificial Intelligence in Education: Perspectives of Education Staff. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 12(4), 942-956.
8. Al-Hassan, O., Thompson, P. (2022). AI-powered lesson planning in science teacher education. *Journal of Educational Technology*, 15(3), 45-67.
9. Almasri, F. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: A systematic review of empirical research. *Research in Science Education*, 54(5), 977-997.
10. Alotaibi, N. S. (2024). The Impact of AI and LMS Integration on the Future of Higher Education: Opportunities, Challenges, and Strategies for Transformation. *Sustainability (Switzerland)*, 16(23). Scopus.
11. Ayanwale, M. A., Adelana, O. P., Molefi, R. R., Adeeko, O., Ishola, A. M. (2024). Examining artificial intelligence literacy among pre-service teachers for future classrooms. *Computers and Education Open*, 6, 100179.
12. Aydın, Ö., Karaarslan, E. (2023). Is ChatGPT leading generative AI? What is beyond expectations? *Acad. Platf. J. Eng. Smart Syst.* 2023, 11, 118-134.
13. Bae, H., Hur, J., Park, J., Choi, G. W., Moon, J. (2024). Pre-service Teachers' Dual Perspectives on Generative AI: Benefits, Challenges, and Integrating into Teaching and Learning. *Online Learning*, 28(3), 131-156.
14. Banerjee, M., Chiew, D., Patel, K. T., Johns, I., Chappell, D., Linton, N., Cole, G. D., Francis, D. P., Szram, J., Ross, J., Zaman, S. (2021). The impact of artificial intelligence on clinical education: perceptions of postgraduate trainee doctors in London (UK) and recommendations for trainers. *BMC Medical Education*, 21(1).
15. Bauer, E., Sailer, M., Niklas, F., Greiff, S., Sarbu-Rothsching, S., Zottmann, J. M., ... Fischer, F. (2025). AI-based adaptive feedback in simulations for teacher education: an experimental replication in the field. *Journal of Computer Assisted Learning*, 41(1), e13123.
16. Blonder, R., Feldman-Maggor, Y., Rap, S. (2024). Are They Ready to Teach? Generative AI as a Means to Uncover Pre-Service Science Teachers' PCK and Enhance Their Preparation Program. *Journal of Science Education and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10180-2>.
17. Bond, M., Khosravi, H., De Laat, M., Bergdahl, N., Negrea, V., Oxley, E., Pham, P., Chong, S. W., Siemens, G. (2024). A meta systematic review of artificial intelligence in higher education: A call for increased ethics, collaboration, and rigour. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1). Scopus.
18. Burton, E., Goldsmith, J., Koenig, S., Kuipers, B., Mattei, N., Walsh, T. (2017). Éthique

considérations dans les cours d'intelligence artificielle. Magazine AI, 38(2), 22-34.

19. Ceylan, B., Altıparmak Karakus, M. (2024). Development of an Artificial Intelligence-Based Mobile Application Platform: Evaluation of Prospective Science Teachers' Project on Creating Virtual Plant Collections in terms of Plant Blindness and Knowledge. *International Journal of Technology in Education and Science*, 8(4), 668-688.
20. Chau, D. B., Luong, V. T., Long, T. T., Thi Thao Linh, N. (2025). Personalized Mathematics Teaching with The Support of AI Chatbots to Improve Mathematical Problem-Solving Competence for High School Students in Vietnam. *European Journal of Educational Research*, 14(1), 323-333.
21. Chen, X., Xie, H., Zou, D., Hwang, G. J. (2020). Application and theory gaps during the rise of Artificial Intelligence in Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1.
22. Chen, X., Zou, D., Xie, H., Cheng, G., Liu, C. (2022). Two Decades of Artificial Intelligence in Education: Contributors, Collaborations, Research Topics, Challenges, and Future Directions. *Educational Technology & Society*, 25(1), 28-47.
23. Chen, X., Cheng, G., Zou, D., Zhong, B., Xie, H. (2023). Artificial intelligent robots for precision education. *Educational Technology & Society*, 26(1), 171-186.
24. Cheng, Y., Pedaste, M., Bardone, E., Huang, Y. (Eds.) (2024). *Innovative Technologies and Learning: 7th International Conference, ICITL 2024, Tartu, Estonia, August 14-16, 2024, Proceedings, Part I* (Vol. 14785). Springer Nature.
25. Chiu, T. K. F., Xia, Q., Zhou, X., Chai, C. S., Cheng, M. (2023). Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4. Scopus.
26. Cooper, G., Tang, K. S., Fitzgerald, A. (2025). Intersections of Mind and Machine: Navigating the Nexus of Artificial Intelligence, Science Education, and the Preparation of Pre-service Teachers. *Journal of Science Education and Technology*.
27. Daife, Y., Elharbaoui, E. (2025). Use of Artificial Intelligence by Students in Morocco: A Qualitative Study on Skills, Impact, and Perceptions. In *Qualitative Approaches to Pedagogical Engineering* (271- 304). IGI Global.
28. Djelti, M., Kouninef, B. (2022). L'impact de l'intelligence artificielle sur le système éducatif. *Les ouvrages du CRASC*, 187-214.
29. Doorsamy, W., Padayachee, K., Cornell, A. S. (2025). Generative Artificial Intelligence and Encounters with Knowledge in STEM Higher Education Curricula. *2025 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1-5.
30. Duarte, N., Pérez, Y., Beltrán, A., Bolaño-García, M. (2023). Use of Artificial Intelligence in Education : A Systematic Review.
31. Ejjami, R. (2024). Revolutionizing Moroccan Education with AI : A Path to Customized Learning. *International Journal For Multidisciplinary Research*, Vol. 6.
32. Farrelly, T., Baker, N. (2023). Generative Artificial Intelligence: Implications and Considerations for Higher Education Practice. *Education Sciences*, 13(11), Article 11.
33. Feldman-Maggor, Y., Blonder, R., Alexandron, G. (2024). Perspectives of Generative AI in Chemistry Education Within the TPACK Framework. *Journal of Science Education and Technology*, 34(1), 1-12.
34. Folmeg, M., Fekete, I., Koris, R. (2024). Towards identifying the components of students' AI literacy: An exploratory study based on Hungarian higher education students' perceptions. *Journal of*

- University Teaching and Learning, Practice, 21(6), 1-16.
35. Fortin, M- F. Gagnon, J. (2016). Fondements et étapes du processus de recherche : Méthodes quantitatives et qualitatives (3e édition). Montréal, Québec: Chenelière éducation.
 36. Gonzalo, M. (2024). Who Uses ChatGPT Most in Spain: Men and Gen Z. Newtral. 2023. Available online: https://www.newtral.es/cuantos-usuarios-chatgpt-espana-generacion-z/20231205/#google_vignette (accessed on 20 February 2024).
 37. Goodman, J., Handa, V., Wilson, R., Bradbury, L. (2024). Promises and pitfalls: Using an AI chatbot as a tool in 5E lesson planning. *Innovations in Science Teacher Education*, 9(1), 1-13.
 38. Hennesey, M. (2024). Exclusive: Almost Half of Cambridge Students Have Used ChatGPT to Complete University Work. *Varsity*. Available online: <https://www.verity.co.uk/news/25463> (accessed on 21 April 2024).
 39. Hwang, G. J., Xie, H., Wah, B. W., Gašević, D. (2020). Vision, challenges, roles, and research issues of artificial intelligence in education. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 1.
 40. Ismaili, Y. (2024). AI Literacy and Adaptive Learning in Moroccan Education: Advancing Critical Thinking and Personalized Learning. *Research on Education and Media*, 16.
 41. Jean, A. (2020). Une brève introduction à l'intelligence artificielle. *Médecine/Sciences*, 36(11), 1059-1067.
 42. Johnson, R., Patel, S. (2020). Automated assessment in science teacher education. *Assessment in Education*, 27(4), 501-520.
 43. Karatas, F., Yuce, E. (2024). AI and the Future of Teaching: Preservice Teachers' Reflections on the Use of Artificial Intelligence in Open and Distributed Learning. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 25(3), 304-325.
 44. Kohnke, L., Zou, D. (2025). Artificial Intelligence Integration in TESOL Teacher Education: Promoting a Critical Lens Guided by TPACK and SAMR. *TESOL Quarterly*. Portico. <https://doi.org/10.1002/tesq.3396>
 45. Kotsis, K. T. (2024). Integrating ChatGPT into the Inquiry-Based Science Curriculum for Primary Education. *European Journal of Education and Pedagogy*, 5(6), 28-34.
 46. Kumar, V., Boulanger, D., Seanosky, J. (2021). AI in teacher education: A review of the literature. *Journal of Educational Technology Systems*, 49(3), 345-367.
 47. Lee, G. G., Zhai, X. (2024). Using ChatGPT for Science Learning: A Study on Pre-service Teachers' Lesson Planning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 1643-1660.
 48. Martin, F., Zhuang, M., Schaefer, D. (2024). Systematic review of research on artificial intelligence in K-12 education (2017-2022). *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100195.
 49. Matthew, U. O., Bakare, K. M., Ebong, G. N., Ndukwu, C. C., Nwanakwaugwu, A. C. (2023). Generative Artificial Intelligence (AI) Educational Pedagogy Development: Conversational AI with User-Centric ChatGPT4. *Journal of Trends in Computer Science and Smart Technology*, 5(4), 401-418.
 50. Napal Fraile, M., Badiola, L. (2024). Acceptance of Artificial Intelligence (ChatGPT) Among Trainee Teachers in Higher Education. *Trends High. Educ.* 3, 1081-1090.
 51. Nehm, R. H. (2024). AI in biology education assessment: How automation can drive educational transformation. In *Uses of Artificial Intelligence in STEM Education* (38-58).
 52. Ng, D., Tan, C., Leung, J. (2024). Empowering student self-regulated learning and science education

- through ChatGPT: A pioneering pilot study. *British Journal of Educational Technology*. 55(4), 1328-1353.
53. Okulu, H., Muslu, N. (2024). Conception d'un cours pour les futurs enseignants de sciences utilisant ChatGPT : ce que ChatGPT apporte. *Environnements d'apprentissage interactifs*, 32(10), 7450-7467.
54. Organisation mondiale de la Santé OMS, (2010). Série de Rapports techniques, N° 957.
55. Ouahani, N., Mahraj, M. (2025). ChatGPT Application in ELT: The International Context, the Moroccan Context, and Future Prospects. *Journal of English Language Teaching and Applied Linguistics*.
56. Peikos, G., Stavrou, D. (2025). ChatGPT for Science Lesson Planning: An Exploratory Study Based on Pedagogical Content Knowledge. *Education Sciences*, 15(3), 338.
57. Pellas, N. (2025). The Impact of AI-Generated Instructional Videos on Problem-Based Learning in Science Teacher Education. *Education Sciences*, 15(1), 102.
58. Pernaa, J., Ikavalko, T., Takala, A., Vuorio, E., Pesonen, R., Haatainen, O. (2024). Artificial Intelligence – Chatbots in Chemical Information Seeking: Narrative Educational Insights via a SWOT Analysis. *Informatics*, 11(2), 20.
59. Powell, W., Courchesne, S. (2024). Opportunities and risks involved in using ChatGPT to create first grade science lesson plans. *PloS one*, 19(6).
60. Prentzas, J., Sidiropoulou, M. (2023). Assessing the Use of Open AI Chat-GPT in a University Department of Education. 2023 14th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA), 1-4.
61. Rabiati, M. M., Shehu, S. A. (2024). Adopting Artificial Intelligence (AI) in Education: Challenges & Possibilities. *Asian Journal Of Advanced Research And Reports*, 18(2), 106-111.
62. Ramnarain, U., Ogegbo, A. A., Penn, M., Ojetunde, S., Mdalose, N. (2024). Pre-Service Science Teachers' Intention to use Generative Artificial Intelligence in Inquiry-Based Teaching. *Journal of Science Education and Technology*.
63. Rodriguez, M., Kim, J. (2021). Adaptive AI for teacher professional development. *Journal of Teacher Education*, 72(5), 600-615.
64. Romero, P. (2023). La incorporación del ChatGPT en la educación superior: Una mirada desde el paradigma de la complejidad. 593 *Digital Publisher CEIT*, 8(5), 213-225.
65. Roumate, F. (2023). Ethics of Artificial Intelligence, Higher Education, and Scientific Research, in F. Roumate (ed.) *Artificial Intelligence in Higher Education and Scientific Research: Future Development*. Singapore: Springer Nature (Bridging Human and Machine: Future Education with Intelligence), 129-144.
66. Rudolph, J., Tan, S., Tan, S. (2023). ChatGPT : Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education? *Journal of Applied Learning and Teaching*, 6(1), 342-363.
67. Russell, S., Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
68. Sánchez-Prieto, J. C., Cruz-Benito, J., Therón, R., & García-Peñalvo, F. (2020). Assessed by Machines: Development of a TAM-Based Tool to Measure AI-based Assessment Acceptance Among Students. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 6(4), 80.
69. Selwyn, N. (2019). Les robots devraient-ils remplacer les enseignants ? L'IA et l'avenir de l'éducation. *Politique sociale et société*, 18(2), 1-16.
70. Shute, V., Rahimi, S. (2017). Review of AI-based formative assessment. *Educational Research*

Review, 21, 34-50.

71. Slimi, Z. (2023). The Impact of Artificial Intelligence on Higher Education: An Empirical Study. *European Journal of Educational Sciences*, 10(1).
72. Sok, S., Heng, K. (2024). Opportunities, challenges, and strategies for using ChatGPT in higher education: A literature review. *J. Digit. Educ. Technol.* 4, ep2401.
73. Spasopoulos, T., Sotiropoulos, D., Kalogiannakis, M. (2025). Generative AI in Pre-Service Science Teacher Education: A Systematic Review. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, 5(2), 1501-1523.
74. Tang, K., Cooper, G. Nielsen, W. (2024). Philosophie, droit, éthique et pratique : Considérations sur l'utilisation émergente de l'IA générative dans les revues universitaires : Lignes directrices pour la recherche en éducation scientifique (RISE). *Recherche en éducation scientifique*, 54(5), 797-807.
75. UNESCO (2021). Artificial Intelligence and Education: Guidance for Policy-Makers. Visite en ligne le 25/01/2025 à 20 :26 sur le site officiel de l'UNESCO.
76. Van den Berg, G., du Plessis, E. (2023). ChatGPT and Generative AI: Possibilities for Its Contribution to Lesson Planning, Critical Thinking and Openness in Teacher Education. *Education Sciences*, 13(10), 998.
77. Wahyono, I., Fadlika, I., Asfani, K., Putranto, H., Hammad, J. (2019). New adaptive intelligence method for personalized adaptive laboratories. In 2019 International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE). Vol. 6, 196-200. IEEE.
78. Wang, K., Burkholder, E., Wieman, C., Salehi, S., Haber, N. (2024). Examining the potential and pitfalls of ChatGPT in science and engineering problem solving. *Frontier in Education*, 18(8), 1-11.
79. Xu, Y., Liu, L., Xiong, J., Zhu, G. (2025). Graders of the Future: Comparing the Consistency and Accuracy of Gpt4 and Pre-Service Teachers in Physics Essay Question Assessments. *Journal of Baltic Science Education*, 24(1), 187-207.
80. Zhai, X., Chu, X., Chai, C. S., Jong, M. S. Y., Istenic, A., Spector, M., Liu, J.-B., Yuan, J., Li, Y. (2021). A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020. *Complexity*, 2021.
81. Zhai, X., Nyaaba, M., Ma, W. (2024). Can generative AI and ChatGPT outperform humans on cognitive-demanding problem-solving tasks in science? *Science & Education*, Advance online publication.
82. Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education—where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, Vol. 16(1), 2019.