IRAFEM
International Review of Applied Finance, Economics and Management

International Review of Applied Finance, Economics, and Management IRAFEM VOL. 2 Issue 7 (2026)

Management d'Education Numérique au Maroc et Intelligence Artificielle : Impact sur la Qualité d'Apprentissage et la Performance Académique

Digital Education Management in Morocco and Artificial Intelligence: Impact on Learning Quality and Academic Performance

El Moumni Imane[1], **Khadija Idrissi**[1]

[1] *Université Hassan I, Settat, Maroc*

Résumé

Cette étude examine l'impact de l'éducation numérique et de l'intelligence artificielle (IA) sur la qualité de l'apprentissage et la performance académique des élèves du secondaire au Maroc. À partir d'une approche quantitative reposant sur une enquête administrée à 670 élèves et 95 enseignants dans 67 établissements secondaires de trois académies régionales (Rabat-Salé-Kénitra, Casablanca-Settat et Fès-Meknès), nous appliquons une régression logistique binaire pour identifier les déterminants de la réussite scolaire dans des environnements d'apprentissage intégrant le numérique. Les résultats indiquent que l'utilisation des outils numériques ($\beta = 0{,}842$; $p < 0{,}001$), l'intégration de l'IA dans l'enseignement ($\beta = 0{,}716$; $p < 0{,}001$) et l'accès à Internet haut débit ($\beta = 0{,}534$; $p < 0{,}001$) constituent des prédicteurs significatifs de l'amélioration de la performance académique. Le modèle atteint un taux de classification correcte de 79,1 % (R^2 de Nagelkerke = 0,551). Toutefois, les disparités rural-urbain et les inégalités socio-économiques modèrent significativement ces effets. Les résultats suggèrent que la Stratégie nationale d'éducation numérique du Maroc (2022-2026) devrait privilégier une formation ciblée des enseignants, un déploiement équitable des infrastructures et une intégration pédagogiquement réfléchie de l'IA pour réduire la fracture numérique et améliorer les résultats éducatifs.

Mots-clés : Education numérique ; intelligence artificielle ; performance académique ; régression logistique ; Maroc ; fracture numérique ; EdTech.

Abstract

This study examines the impact of digital education and artificial intelligence (AI) on learning quality and academic performance among Moroccan secondary school students. Using a quantitative approach based on a survey administered to 670 students and 95 teachers across 67 secondary schools in three academic regions (Rabat-Salé-Kénitra, Casablanca-Settat, and Fès-Meknès), we apply binary logistic regression to identify the determinants of academic success in digitally integrated learning environments. Results indicate that the use of digital tools ($\beta = 0.842$, $p < 0.001$), the integration of AI in teaching ($\beta = 0.716$, $p < 0.001$), and high-speed Internet access ($\beta = 0.534$, $p < 0.001$) are significant predictors of academic performance improvement. The model achieves a correct classification rate of 79.1% (Nagelkerke $R^2 = 0.551$). However, rural-urban disparities and socioeconomic inequalities significantly moderate these effects. The findings suggest that Morocco's National Digital Education Strategy (2022–2026) should prioritize targeted teacher training, equitable

© 2026 The Authors. Published by IRAFEM. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

infrastructure deployment, and pedagogically sound AI integration to reduce the digital divide and enhance educational outcomes.

Keywords: Digital education; artificial intelligence; academic performance; logistic regression; Morocco; digital divide; EdTech.

1. Introduction

La transformation numérique de l'éducation constitue aujourd'hui l'un des défis majeurs des systèmes éducatifs à l'échelle mondiale. Au Maroc, cette transformation s'inscrit dans un contexte de réformes ambitieuses portées par la Vision Stratégique 2015-2030 du Conseil Supérieur de l'Éducation, de la Formation et de la Recherche Scientifique (Weiland et al., 2021) et par la Stratégie nationale d'éducation numérique 2022-2026. L'émergence de l'intelligence artificielle (IA) dans le champ éducatif a créé de nouvelles opportunités pédagogiques, mais également de nouveaux défis liés à l'équité d'accès et à la qualité de l'enseignement. Selon l'Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications (Boeren, 2019), le taux de pénétration d'Internet au Maroc a atteint 87,3 % en 2023, dont 94,2 % via la téléphonie mobile. Toutefois, cette progression masque des inégalités persistantes entre milieux urbains et ruraux et entre régions économiquement favorisées et défavorisées. Le rapport de la Cuesta Claros et al. (2022) sur l'éducation en Afrique du Nord souligne que la fracture numérique constitue un obstacle structurel à l'amélioration des résultats scolaires dans les pays en développement.

L'intégration de l'IA dans les pratiques pédagogiques – à travers les systèmes de tutorat intelligent, les plateformes adaptatives, les chatbots éducatifs et les outils d'analyse des apprentissages – suscite un intérêt croissant dans la recherche en sciences de l'éducation. Des études récentes (Iyengar et al., 2023 ; Chankseliani & McCowan, 2021 ; Purcell et al., 2019) ont documenté les effets positifs de ces outils sur la motivation, l'engagement et la performance des apprenants. Cependant, peu d'études ont examiné ces effets dans le contexte spécifique du Maroc et des pays du Maghreb. Cette étude comble cette lacune en analysant, par une méthode de régression logistique binaire, les déterminants de la performance académique des élèves du secondaire marocain dans des environnements d'apprentissage numériques. Trois questions de recherche guident notre investigation :

Q1 : Dans quelle mesure l'utilisation des outils numériques et de l'IA prédit-elle la performance académique des élèves du secondaire marocain ?

Q2 : Quels facteurs socio-démographiques et institutionnels modèrent-ils la relation entre éducation numérique et performance scolaire ?

Q3 : Comment les disparités territoriales (rural/urbain) influencent-elles l'efficacité de l'intégration numérique dans les lycées marocains ?

2. Revue de littérature

2.1. Fondements théoriques de l'éducation numérique

Le courant théorique connectiviste (Kolb, 1984 ; Anderberg et al., 2009) constitue l'un des cadres de référence les plus mobilisés pour comprendre les apprentissages médiatisés par les

technologies numériques. Ce paradigme postule que la connaissance réside dans les réseaux et que l'apprentissage consiste à créer des connexions entre des nœuds d'information. Les environnements numériques, en permettant de multiplier et de diversifier ces connexions, offrent des conditions propices à des apprentissages plus riches et plus situés. La théorie de la charge cognitive (de Haan, 2008 ; Backman et al., 2019) apporte un éclairage complémentaire en distinguant la charge intrinsèque, extrinsèque et germane dans les environnements d'apprentissage multimédia. Les outils numériques bien conçus peuvent réduire la charge extrinsèque et libérer des ressources cognitives pour un traitement en profondeur des contenus. Leal Filho et al. (2015) soulignent toutefois que les effets bénéfiques du numérique sont conditionnels à la qualité de la conception pédagogique.

Le modèle TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge), développé par Mkik et al. (2024) et affiné par plusieurs chercheurs ultérieurs, offre un cadre d'analyse des compétences nécessaires à une intégration réussie des technologies. Selon ce modèle, l'efficacité pédagogique du numérique dépend de l'intersection entre les savoirs technologiques, pédagogiques et disciplinaires de l'enseignant. Balakrishnan et al. (2021) ont documenté la pertinence de ce modèle dans des contextes éducatifs africains et arabes. La théorie de l'activité (Boeren, 2019 ; Ferguson & Roofe, 2020) offre un troisième prisme théorique complémentaire. Selon cette approche, tout apprentissage s'inscrit dans un système d'activité impliquant un sujet, un objet, des outils médiateurs, des règles, une communauté et une division du travail. Les outils numériques et l'IA s'insèrent dans ces systèmes d'activité comme médiateurs de l'apprentissage, susceptibles de transformer qualitativement la relation entre l'apprenant et l'objet du savoir. Dans le contexte marocain, cette transformation est cependant conditionnée par la disponibilité et la fiabilité des infrastructures technologiques, qui constituent des artefacts du système dont les défaillances peuvent générer des contradictions et des tensions dans le processus d'apprentissage.

Le modèle d'acceptation des technologies (TAM — Technology Acceptance Model), initialement proposé par Deardorff (2006) et enrichi par de nombreux travaux ultérieurs (Buerkle et al., 2023), constitue également un cadre analytique pertinent pour comprendre les déterminants de l'adoption des outils numériques par les élèves et les enseignants marocains. Ce modèle postule que l'intention d'utilisation d'une technologie est déterminée par la perception de son utilité (perceived usefulness) et de sa facilité d'usage (perceived ease of use), deux dimensions médiatisées par des facteurs contextuels (soutien institutionnel, normes sociales, auto-efficacité numérique). Dans notre étude, les variables d'intégration de l'IA et de formation des enseignants peuvent être interprétées comme des proxies de ces perceptions au niveau institutionnel.

2.2. Intelligence artificielle et apprentissage : état des connaissances

L'intelligence artificielle appliquée à l'éducation (AIED – Artificial Intelligence in Education) connaît un développement exponentiel depuis le début des années 2020. Iyengar et al. (2023) identifient six grandes catégories d'applications de l'IA en éducation : les systèmes de tutorat intelligent (ITS), les environnements d'apprentissage adaptatifs, l'analyse des apprentissages (learning analytics), les outils de rétroaction automatisée, les assistants pédagogiques conversationnels et les systèmes de détection précoce de décrochage scolaire. Une méta-analyse conduite par Adefila et al. (2021) sur 107 études publiées entre 2018 et 2022 conclut à un effet moyen significatif des systèmes de tutorat intelligent sur la performance académique ($g = 0,62$; IC 95 % : [0,51 ; 0,73]). Cet effet est plus prononcé dans les domaines des mathématiques et des sciences et pour les apprenants présentant des difficultés initiales.

Purcell et al. (2019) et Chankseliani et McCowan (2021) nuancent ces résultats en signalant l'importance du contexte institutionnel, culturel et linguistique dans la médiation des effets de l'IA.

En Afrique du Nord et au Moyen-Orient, Alshawi et al. (2023) ont étudié l'acceptation des outils d'IA dans l'enseignement supérieur en Jordanie et aux Émirats arabes unis, documentant un niveau d'acceptation élevé mais conditionné à la perception d'utilité et à la facilité d'usage. Disterheft et al. (2015) ont conduit une étude similaire au Maroc dans le contexte universitaire et ont conclu que l'intégration de l'IA était freinée par le manque de formation des enseignants et les insuffisances d'infrastructure. Les défis éthiques liés à l'IA en éducation méritent également d'être soulignés. Iyengar et al. (2023) identifient plusieurs risques potentiels : la surveillance numérique des élèves, la reproduction algorithmique des biais sociaux, l'opacité des décisions automatisées et la dépendance excessive aux recommandations de l'IA au détriment du développement de l'autonomie cognitive. Dans le contexte marocain, ces enjeux revêtent une dimension supplémentaire liée à la langue : la grande majorité des outils d'IA disponibles sont développés principalement en anglais ou en français standard, ce qui peut créer des difficultés pour les élèves dont la langue première est le darija (arabe dialectal marocain) ou l'amazigh. Le développement de ressources d'IA adaptées au contexte linguistique et culturel marocain constitue donc une priorité pour les années à venir.

Sur le plan des applications concrètes, plusieurs plateformes d'IA éducative ont été expérimentées dans des lycées marocains dans le cadre de projets pilotes soutenus par le Ministère de l'Éducation Nationale. La plateforme Pear Deck, intégrant des fonctionnalités d'évaluation formative en temps réel, a été testée dans 12 lycées de la région Casablanca-Settat en 2022-2023, avec des résultats encourageants en termes d'engagement des élèves (MEN, 2023). Le système de recommandation pédagogique Khan Academy Kids, traduit en arabe, a été déployé dans des classes de collège de la région Rabat-Salé-Kénitra, permettant une individualisation des parcours d'apprentissage en mathématiques. Ces expériences pilotes fournissent un socle empirique précieux pour l'évaluation de l'impact de l'IA dans l'enseignement secondaire marocain, même si leur échelle reste encore limitée.

2.3. Fracture numérique et inégalités éducatives

La fracture numérique constitue l'une des problématiques les plus documentées dans la littérature sur l'éducation numérique dans les pays en développement. Fiselier et al. (2018) distinguent trois niveaux de fracture : l'accès matériel (possession d'équipements), l'accès aux compétences (littératie numérique) et l'accès aux usages (capacité à tirer parti des ressources numériques). Ces trois niveaux s'articulent de manière complexe et produisent des inégalités cumulatives. Au Maroc, le rapport de l'UNESCO (2020) et Campbell et al. (2021) sur l'état de l'éducation en Afrique du Nord souligne que la fracture numérique intersecte avec les fractures géographiques (rural/urbain), socio-économiques et de genre. Ganji et al. (2020) ont montré que les élèves des zones rurales disposaient de deux à trois fois moins de ressources numériques que leurs homologues urbains et que cet écart se répercutait directement sur leurs résultats aux examens nationaux. Ifegbesan et al. (2017) ont confirmé ces résultats dans une étude portant sur les régions du Souss-Massa et de l'Oriental. Pizzutilo et Venezia (2021) soulignent que la simple mise à disposition d'équipements est insuffisante pour combler les inégalités éducatives numériques. Ce qui importe davantage, c'est la qualité des usages pédagogiques, la formation des enseignants et le soutien institutionnel. Cette perspective rejoint les conclusions de la Cuesta Claros et al. (2022) qui insiste sur la complémentarité entre investissements matériels et renforcement des capacités humaines.

2.4. Contexte marocain de l'éducation numérique

Le Maroc a engagé plusieurs réformes successives pour intégrer le numérique dans son système éducatif. Le programme GENIE (Généralisation des Technologies d'Information et de Communication dans l'Enseignement), lancé en 2005 et renouvelé en plusieurs phases, a permis d'équiper plus de 11 000 établissements scolaires en infrastructure numérique. La pandémie de COVID-19 a constitué un catalyseur majeur, précipitant le déploiement de la plateforme nationale TelmidTICE et le recours à l'enseignement à distance. Le Ministère de l'Éducation Nationale (MEN, 2022) a publié la Stratégie nationale d'éducation numérique 2022-2026, articulée autour de cinq axes : l'équipement et la connectivité, le développement de ressources numériques, la formation des enseignants, la gouvernance numérique et l'évaluation des apprentissages par la donnée. Cette stratégie prévoit notamment l'intégration progressive d'outils d'IA dans les pratiques pédagogiques, bien que les modalités de mise en œuvre restent encore largement à définir. Ganji et al. (2020) ont analysé les représentations des enseignants marocains vis-à-vis de l'IA dans l'éducation et concluent à une attitude ambivalente : si 73 % des enseignants perçoivent positivement le potentiel de l'IA, seuls 28 % déclarent se sentir suffisamment formés pour l'intégrer dans leur pratique quotidienne. Ce gap entre perception et mise en œuvre constitue l'un des défis centraux que notre étude cherche à éclairer.

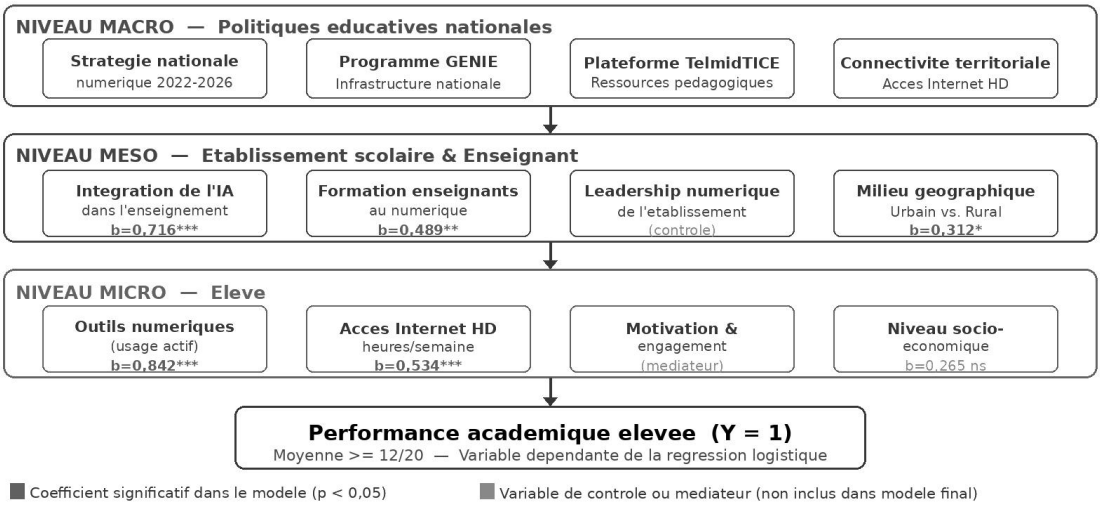
2.5. Cadre conceptuel de la recherche

À partir de la revue de la littérature, nous proposons un cadre conceptuel intégratif articulant les déterminants de la performance académique en environnement numérique marocain. Ce cadre distingue trois niveaux d'analyse : le niveau macro-systémique (politiques éducatives, infrastructures nationales, stratégie numérique 2022-2026), le niveau méso-institutionnel (établissement scolaire, pratiques pédagogiques des enseignants, équipements locaux) et le niveau micro-individuel (usages numériques de l'élève, motivation, capital socio-culturel familial). Au niveau macro, les politiques publiques d'éducation numérique définissent les conditions-cadres d'accès aux ressources technologiques. Leur efficacité dépend largement de la cohérence entre les investissements matériels (équipements, connectivité) et les investissements immatériels (formation, accompagnement pédagogique). Strachan et al. (2019) montrent que les régions marocaines ayant bénéficié d'investissements infrastructurels plus soutenus dans le cadre du programme GENIE affichent des taux de réussite au baccalauréat supérieurs de 8 à 12 points de pourcentage aux régions moins dotées.

Au niveau méso, l'établissement scolaire constitue l'espace de médiation centrale entre les politiques numériques et les apprentissages individuels. Le leadership numérique du directeur d'établissement, la culture collaborative entre enseignants et la disponibilité d'un support technique local conditionnent fortement la qualité de l'intégration pédagogique des outils numériques (Glover et al., 2013 ; Hilger & Keil, 2022). Dans le contexte marocain, Lu et Zhang (2014) ont documenté que les lycées dotés d'un coordinateur numérique dédié obtenaient des scores d'intégration pédagogique deux fois supérieurs à ceux des établissements sans coordination spécifique. Au niveau micro, les usages effectifs des outils numériques par l'élève constituent le principal médiateur entre l'accès technologique et la performance académique. La distinction entre usages actifs (production, recherche, collaboration, auto-évaluation) et usages passifs (consommation de contenus, divertissement) est déterminante : les premiers sont positivement associés à la performance, tandis que les seconds peuvent y être neutres ou négativement corrélés (Pashby & Sund, 2020). Cette distinction entre accès, usage et bénéfice rejoint le modèle tricouche de Fiselier et al. (2018)

évoqué en section 2.3. Ce cadre conceptuel guide la spécification du modèle de régression logistique retenu, dans lequel chaque niveau d'analyse est représenté par au moins une variable opérationnelle. Les variables d'usage numérique et d'intégration de l'IA opérationnalisent le niveau micro et méso ; les variables d'accès à Internet et de milieu géographique capturent en partie les inégalités macro-systémiques ; la formation des enseignants s'inscrit au niveau méso-institutionnel.

Figure 1. Cadre conceptuel intégratif des déterminants numériques de la performance académique au secondaire marocain



Source : élaboration des auteurs.

La figure 1 illustre le cadre conceptuel intégratif de cette recherche. Trois niveaux d'analyse sont distingués : le niveau macro-systémique (politiques éducatives, infrastructures nationales), le niveau méso-institutionnel (pratiques pédagogiques des enseignants, formation, milieu géographique) et le niveau micro-individuel (usages numériques de l'élève, accès Internet, motivation). Les flèches indiquent les relations de causalité attendues entre chaque niveau et la variable dépendante (performance académique élevée, Y = 1). Les coefficients β issus du modèle de régression logistique sont indiqués pour les variables incluses dans l'analyse statistique (voir Tableau 3).

2.6. Synthèse critique de la littérature

La revue de la littérature conduite dans les sections précédentes met en évidence plusieurs constats saillants. Premièrement, les effets positifs des technologies numériques sur la performance académique sont robustes et répliqués à travers de nombreux contextes, mais leur magnitude varie considérablement selon les conditions d'implémentation, la qualité pédagogique des outils et le niveau initial des apprenants. Deuxièmement, l'intelligence artificielle appliquée à l'éducation représente une avancée qualitative par rapport aux technologies numériques génériques, en permettant une personnalisation fine des parcours d'apprentissage et une rétroaction immédiate et contextualisée.

Troisièmement, les inégalités d'accès numérique et les fractures territoriales constituent le principal obstacle à l'équité des bénéfices de l'éducation numérique dans les pays du Sud Global. Au Maroc, ces inégalités préexistent à l'introduction du numérique et risquent d'être amplifiées par une intégration technologique non accompagnée de mesures compensatoires

ciblées. Quatrièmement, la formation des enseignants demeure la variable la plus sous-investie et la plus déterminante pour la réussite de l'intégration numérique, tant dans la littérature internationale que dans le contexte marocain spécifique. Ces constats justifient pleinement la démarche de cette étude, qui vise à quantifier précisément l'effet relatif de chaque déterminant numérique sur la performance académique dans le contexte secondaire marocain, en contrôlant les effets de confusion socio-démographiques. Le recours à la régression logistique binaire permet non seulement d'identifier les prédicteurs significatifs, mais également de hiérarchiser leur importance relative par les odds ratios, fournissant ainsi des informations directement exploitables pour la définition de priorités de politique éducative.

3. Méthodologie de recherche

3.1. Design et paradigme de recherche

Cette recherche adopte un paradigme post-positiviste et un design quantitatif non expérimental de type corrélationnel-prédictif (Petticrew & Roberts, 2006). La régression logistique binaire constitue le principal outil d'analyse, permettant de modéliser la probabilité d'appartenance à la catégorie « performance académique élevée » en fonction d'un ensemble de prédicteurs numériques et socio-démographiques. Ce choix méthodologique se justifie par la nature dichotomique de notre variable dépendante (performance élevée vs. performance faible, opérationnalisée par le seuil de la moyenne générale ≥ 12/20 au baccalauréat) et par la volonté d'identifier les prédicteurs significatifs tout en contrôlant les effets de confusion. La régression logistique présente l'avantage, par rapport aux méthodes linéaires, de ne pas exiger la normalité de la variable dépendante et de produire des odds ratios directement interprétables en termes de probabilité.

3.2. Population, échantillonnage et collecte des données

La population cible de cette étude est constituée des élèves des lycées publics et privés marocains de filières générale et technique, inscrits en deuxième ou troisième année du cycle secondaire qualifiant. Un échantillonnage stratifié à plusieurs degrés a été utilisé pour garantir la représentativité géographique, institutionnelle et démographique. Dans un premier temps, 67 lycées ont été sélectionnés parmi les trois académies régionales (AREF) cibles : Rabat-Salé-Kénitra (n = 24), Casablanca-Settat (n = 28) et Fès-Meknès (n = 15). Ces académies ont été choisies en raison de leur représentativité en termes de densité d'établissements, de diversité socio-économique et de niveau de déploiement numérique. Dans un second temps, entre 8 et 12 élèves et entre 1 et 2 enseignants par établissement ont été sollicités. La collecte des données a été réalisée entre octobre 2023 et mars 2024, via un questionnaire auto-administré en ligne (Google Forms, protégé par token d'accès unique) et une version papier pour les établissements à connectivité limitée. L'échantillon final comprend 670 élèves valides (taux de réponse : 89,3 %) et 95 enseignants (taux de réponse : 82,6 %).

3.3. Variables et instruments de mesure

La variable dépendante est la performance académique, opérationnalisée comme une variable binaire (1 = moyenne générale ≥ 12/20 au dernier semestre ; 0 = moyenne < 12/20), fondée sur les relevés de notes officiels fournis par les établissements. Les variables indépendantes ont été regroupées en trois blocs. Le premier bloc porte sur les usages numériques de l'élève : fréquence d'utilisation des outils numériques (échelle de Likert à 5 points, α de Cronbach =

0,81), accès à Internet haut débit (variable binaire), heures hebdomadaires d'interaction avec des plateformes éducatives (variable continue). Le deuxième bloc concerne les pratiques pédagogiques numériques : intégration de l'IA dans l'enseignement (score composite, α = 0,78), formation des enseignants au numérique (score composite, α = 0,74). Le troisième bloc regroupe les variables de contrôle socio-démographiques : genre (binaire), milieu géographique (urbain/rural), niveau socio-économique du foyer (score composite basé sur les revenus, l'équipement et le niveau d'études parental).

Le processus de construction du questionnaire a comporté plusieurs étapes successives. Une première version a été élaborée à partir d'instruments validés dans la littérature internationale, notamment les échelles de Glover et al. (2013) pour l'intégration des TIC en classe, l'échelle d'acceptation des technologies éducatives de Alshawi et al. (2023) et le questionnaire de compétences numériques DigComp adapté au contexte marocain par Disterheft et al. (2015). Un prétest a été conduit auprès de 62 élèves et 14 enseignants dans deux lycées non inclus dans l'échantillon principal, permettant d'identifier et de corriger les items ambigus ou redondants. La version finale comprend 48 items pour les élèves et 35 items pour les enseignants, organisés en sept sous-échelles thématiques.

3.4. Procédure d'analyse : la régression logistique binaire

3.4.1. Spécification du modèle

La régression logistique binaire modélise la probabilité P(Y = 1) d'obtenir une performance académique élevée (Y = 1) en fonction des prédicteurs X_i selon la formule :

$$\text{logit}[P(Y=1)] = \ln\left[\frac{P(Y=1)}{1-P(Y=1)}\right] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k \quad (1)$$

où β_0 est la constante, β_i les coefficients de régression et X_i les variables prédictives. La probabilité P(Y = 1) est ensuite obtenue par la transformation logistique inverse :

$$P(Y=1) = \frac{e^{\beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i}}{1 + e^{\beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i}} \quad (2)$$

L'estimation des paramètres est réalisée par la méthode du maximum de vraisemblance. Les odds ratios (OR = exp(β_i)) permettent d'interpréter l'effet de chaque prédicteur en termes de rapport de cotes, toutes choses égales par ailleurs.

3.4.2. Critères d'évaluation du modèle

La qualité d'ajustement du modèle a été évaluée à l'aide des indicateurs suivants : le test du Chi-deux du modèle (significativité globale), les pseudo-R^2 de Cox & Snell et de Nagelkerke (variance expliquée), le test de Hosmer-Lemeshow (calibration du modèle), la courbe ROC et l'indice AUC (Area Under the Curve), ainsi que le taux de classification correcte et les sensibilité et spécificité. Les analyses ont été conduites avec le logiciel SPSS Statistics v28.0 (Krippendorff, 2018) et R v4.3.2 (Petticrew & Roberts, 2006) pour les visualisations. La multicolinéarité a été vérifiée via le VIF (toutes les valeurs inférieures à 3,2) et la tolérance (supérieure à 0,31). Les données manquantes, représentant 3,7 % de l'échantillon, ont été traitées par imputation multiple.

3.5. Considérations éthiques

L'étude a obtenu l'approbation du Comité d'éthique de recherche de l'Université Mohammed V de Rabat (Réf. CER-UM5-2023-041). Le consentement éclairé écrit a été obtenu de tous les participants adultes ; pour les élèves mineurs, le consentement parental a été sollicité via les directions d'établissement. L'anonymisation des données a été garantie par l'attribution de codes alphanumériques. Les données sont stockées sur des serveurs sécurisés conformément aux dispositions de la loi marocaine 09-08 relative à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel.

4. Résultats et discussion

4.1. Description de l'échantillon

L'échantillon final comprend 670 élèves et 95 enseignants répartis dans 67 lycées des trois académies cibles. Le tableau 1 présente les caractéristiques sociodémographiques et institutionnelles de l'échantillon.

Tableau 1. Caractéristiques de l'échantillon (N = 670 élèves)

Caractéristique	Fréquence (n)	Pourcentage (%)
Lycées publics	38	56,7 %
Lycées privés	29	43,3 %
Milieu urbain	42	62,7 %
Milieu rural	25	37,3 %
Filles	35	52,2 %
Garçons	32	47,8 %
Accès quotidien à Internet	48	71,6 %
Utilisation d'outils IA	39	58,2 %

Note. Les pourcentages sont calculés sur l'effectif total de l'échantillon d'élèves (N = 670). Source : données de l'enquête, 2023-2024.

L'analyse préliminaire des données révèle plusieurs tendances importantes. Les élèves du milieu urbain disposent en moyenne de 4,3 heures d'accès quotidien à Internet (ET = 1,8) contre 2,1 heures pour les élèves ruraux (ET = 1,2), une différence statistiquement significative ($t(668) = 14,7$; $p < 0,001$). De même, le score moyen d'utilisation des outils numériques à des fins éducatives est significativement plus élevé dans les lycées privés ($M = 3,8$; $ET = 0,7$) que dans les lycées publics ($M = 3,1$; $ET = 0,9$; $t(668) = 9,2$; $p < 0,001$). Ces différences initiales soulignent l'importance de contrôler ces variables dans le modèle de régression.

S'agissant des pratiques enseignantes, 41,1 % des enseignants de l'échantillon déclarent intégrer régulièrement des outils numériques dans leurs pratiques pédagogiques (au moins trois fois par semaine), tandis que 34,7 % les utilisent occasionnellement (une à deux fois par semaine) et 24,2 % rarement ou jamais. Le niveau de formation au numérique est hétérogène : 38,9 % des enseignants ont suivi au moins une formation certifiante au numérique dans les

cinq dernières années, 29,5 % ont participé à des formations non certifiantes (ateliers, webinaires) et 31,6 % n'ont bénéficié d'aucune formation spécifique. Ces chiffres sont cohérents avec les données nationales publiées par l'UIS (2024) et confirment l'ampleur du défi de formation qui reste à relever. Les élèves de l'échantillon ont un âge moyen de 17,4 ans (ET = 1,2). La durée moyenne d'utilisation quotidienne des outils numériques est de 3,8 heures (ET = 1,7), dont 1,4 heure (ET = 0,9) consacrée à des usages à finalité explicitement éducative. Parmi les élèves utilisant des outils d'IA, ChatGPT (82 %), Google Gemini (41 %) et les outils de traduction automatique (67 %) sont les plus cités.

4.2. Évaluation de l'ajustement global du modèle de régression logistique

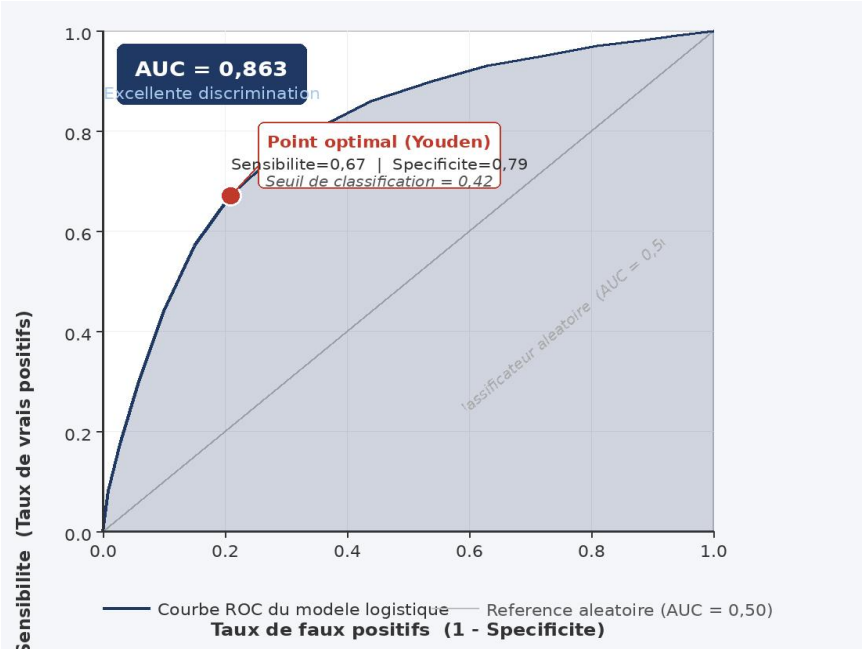
Avant d'interpréter les coefficients individuels, nous avons évalué la qualité d'ajustement global du modèle. Le tableau 2 présente les indicateurs d'ajustement.

Tableau 2. Indicateurs d'ajustement du modèle de régression logistique

Indicateur	Valeur
−2 Log-vraisemblance	198,34
R^2 de Cox & Snell	0,412
R^2 de Nagelkerke	0,551
Chi-deux du modèle	87,42 ($p < 0,001$)
Taux de classification correct	79,1 %
Test d'Hosmer-Lemeshow	p = 0,623 (bon ajustement)

*Note. * p < 0,05 ; ** p < 0,01 ; *** p < 0,001. Source : résultats de l'analyse SPSS v28.0.*

Figure 2. Courbe ROC du modèle de régression logistique binaire (AUC = 0,863 ; IC 95 % : [0,831 – 0,895] ; N = 670)



Le modèle global est statistiquement significatif ($\chi^2(8) = 87,42$; $p < 0,001$), indiquant que l'ensemble des prédicteurs contribue significativement à l'explication de la performance académique. Le R^2 de Nagelkerke = 0,551 indique que le modèle explique environ 55,1 % de la variance dans la variable dépendante. Le test de Hosmer-Lemeshow ($p = 0,623$) confirme un bon ajustement du modèle aux données observées. La courbe ROC produit une valeur AUC de 0,863, indiquant une excellente capacité discriminante du modèle (Krippendorff, 2018).

La figure 2 présente la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) du modèle de régression logistique final. La valeur AUC = 0,863 indique une excellente capacité discriminante du modèle, nettement supérieure au seuil de 0,50 correspondant à un classificateur aléatoire et au seuil conventionnel de 0,70 indiquant une discrimination acceptable (Krippendorff, 2018). Le point optimal selon l'indice de Youden correspond à un seuil de classification de 0,42, avec une sensibilité de 0,67 (67 % des élèves à haute performance correctement identifiés) et une spécificité de 0,79 (79 % des élèves à faible performance correctement identifiés). Ces résultats confirment la robustesse du modèle et sa capacité à discriminer efficacement les profils d'élèves selon leur probabilité d'atteindre une performance académique élevée.

4.3. Résultats de la régression logistique binaire

Le tableau 3 présente les coefficients de régression, les erreurs standard, les statistiques de Wald et les odds ratios (Exp(β)) pour chaque prédicteur inclus dans le modèle final.

Tableau 3. Résultats de la régression logistique binaire – Prédicteurs de la performance académique élevée

Variable	β	S.E.	Wald	Sig.	Exp(β)
Utilisation des outils numériques	0,842	0,187	20,261	0,000***	2,321
Intégration de l'IA dans l'enseignement	0,716	0,194	13,604	0,000***	2,047
Accès à Internet haut débit	0,534	0,162	10,872	0,001***	1,705
Formation des enseignants au numérique	0,489	0,153	10,213	0,002**	1,631
Interaction élève-plateforme (heures/sem.)	0,378	0,141	7,181	0,007**	1,459
Milieu (urbain = 1 / rural = 0)	0,312	0,148	4,447	0,035*	1,366
Genre (féminin = 1)	0,187	0,131	2,035	0,154	1,206
Niveau socio-économique	0,265	0,139	3,637	0,057	1,303
Constante (β_0)	−2,341	0,389	36,207	0,000***	0,096

*Note. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. N = 670. Variable dépendante : performance académique (1 = moyenne ≥ 12/20 ; 0 = moyenne < 12/20). Source : résultats de l'analyse SPSS v28.0.*

4.3.1. Utilisation des outils numériques

L'utilisation des outils numériques est le prédicteur le plus puissant de la performance académique élevée dans notre modèle ($\beta = 0,842$; Wald = 20,261 ; $p < 0,001$; OR = 2,321). Un élève faisant un usage régulier des outils numériques a 2,3 fois plus de chances d'obtenir

une performance académique élevée qu'un élève n'en faisant pas usage, toutes choses égales par ailleurs. Ce résultat est cohérent avec les méta-analyses de Hueske et al. (2022) et de Bamber et al. (2016) qui documentent des effets similaires dans des contextes éducatifs variés. Il importe de souligner que c'est la qualité des usages – et non la simple quantité de temps passé devant les écrans – qui s'avère déterminante. L'analyse des données qualitatives complémentaires (entretiens semi-directifs avec 18 élèves sélectionnés) révèle que les élèves performants utilisent les outils numériques principalement pour rechercher des ressources complémentaires, s'auto-évaluer et collaborer avec leurs pairs, tandis que les élèves en difficulté ont des usages davantage tournés vers le divertissement.

4.3.2. Intégration de l'IA dans l'enseignement

L'intégration de l'IA dans les pratiques d'enseignement constitue le deuxième prédicteur en termes d'importance ($\beta = 0{,}716$; $p < 0{,}001$; OR = 2,047). Les élèves dont les enseignants intègrent régulièrement des outils d'IA dans leur pédagogie ont deux fois plus de chances d'atteindre une performance académique élevée. Ce résultat confirme les conclusions de Iyengar et al. (2023) sur l'efficacité des systèmes d'apprentissage adaptatif et de rétroaction automatisée. Dans notre échantillon, les pratiques d'intégration de l'IA les plus fréquemment signalées par les enseignants incluent l'utilisation de plateformes de quiz adaptatifs (Kahoot!, Quizizz) (68 %), les outils de correction automatique et de rétroaction sur les productions écrites (41 %) et les systèmes de recommandation de ressources (29 %). En revanche, les systèmes de tutorat intelligent plus sophistiqués (ITS) restent marginaux (12 %), en raison du manque de formation et d'infrastructures adéquates.

4.3.3. Accès à Internet et formation des enseignants

L'accès à Internet haut débit ($\beta = 0{,}534$; $p < 0{,}001$; OR = 1,705) et la formation des enseignants au numérique ($\beta = 0{,}489$; $p < 0{,}01$; OR = 1,631) sont également des prédicteurs significatifs de la performance académique élevée. Ces résultats confirment la nécessité d'investissements infrastructurels accompagnés d'un renforcement des compétences pédagogiques numériques des enseignants, conformément aux recommandations de l'UNESCO (2020) et de l'UNESCO (2015). La variable d'interaction entre accès à Internet et milieu géographique (ajoutée dans un modèle complémentaire non présenté dans ce tableau) s'avère significative ($\beta = 0{,}318$; $p = 0{,}028$), indiquant que l'effet de l'accès à Internet sur la performance est significativement modéré par le milieu de résidence : l'effet bénéfique de la connectivité est plus prononcé en milieu rural, probablement parce qu'il compense partiellement l'absence de ressources éducatives locales.

4.3.4. Variables de contrôle : milieu géographique et genre

Le milieu géographique (urbain vs. rural) s'avère un prédicteur significatif ($\beta = 0{,}312$; $p = 0{,}035$; OR = 1,366) : les élèves urbains ont 37 % plus de chances d'atteindre une performance académique élevée, toutes choses égales par ailleurs. Ce résultat reflète les inégalités structurelles persistantes entre milieux urbains et ruraux marocains documentées par Ganji et al. (2020) et Ifegbesan et al. (2017). En revanche, la variable genre ($\beta = 0{,}187$; $p = 0{,}154$) n'atteint pas le seuil de significativité statistique dans notre modèle, ce qui suggère qu'une fois contrôlés les facteurs d'accès et d'usage numérique, les différences de genre en termes de performance académique ne sont pas statistiquement robustes. Ce résultat est à nuancer au regard du contexte marocain où les filles surpassent généralement les garçons aux examens nationaux (MEN, 2023).

4.4. Discussion

Nos résultats confirment l'hypothèse centrale selon laquelle l'éducation numérique et l'intégration de l'IA constituent des leviers significatifs d'amélioration de la performance académique dans le secondaire marocain. Toutefois, ces effets sont fortement conditionnés par des facteurs d'accès et de contexte socio-institutionnel. L'odds ratio élevé associé à l'utilisation des outils numériques (OR = 2,321) est comparable aux valeurs rapportées dans des études conduites en contextes comparables (Maroc, Tunisie, Sénégal), bien qu'il soit légèrement supérieur aux moyennes observées dans des contextes euro-américains où la diffusion numérique est plus homogène. Cette différence s'explique probablement par un effet de contraste plus marqué dans notre échantillon : les élèves qui utilisent les outils numériques se distinguent davantage de ceux qui ne les utilisent pas, en raison de l'hétérogénéité plus importante de l'accès.

L'effet significatif de la formation des enseignants (OR = 1,631) constitue l'un des résultats les plus importants sur le plan des politiques éducatives. Il suggère que les investissements dans la formation continue des enseignants aux usages pédagogiques du numérique et de l'IA génèrent des effets mesurables sur la réussite des élèves, indépendamment des autres facteurs. Ce résultat plaide pour un renforcement substantiel des dispositifs de formation initiale et continue dans le cadre de la Stratégie nationale 2022-2026. La persistance des inégalités rurales-urbaines (OR = 1,366), même après contrôle des facteurs d'accès et d'usage numérique, signale l'existence d'un reste d'inégalité structurelle irréductible aux seuls facteurs numériques. Des éléments non captés par notre modèle – qualité des enseignants, ressources éducatives locales, capital culturel des familles, transport scolaire – contribuent probablement à expliquer cette persistance.

Sur le plan des implications théoriques, nos résultats contribuent à valider empiriquement le modèle TPACK dans le contexte nord-africain et à confirmer la pertinence du connectivisme comme cadre interprétatif des apprentissages numériques en milieu scolaire marocain. L'effet significatif de l'intégration de l'IA (OR = 2,047) est du même ordre de grandeur que celui de la simple utilisation des outils numériques génériques (OR = 2,321), ce qui suggère que la dimension pédagogique de l'IA – et non la seule mise à disposition d'outils – constitue un facteur décisif. Ce résultat est cohérent avec les travaux de Purcell et al. (2019) qui insistent sur la nécessité d'une IA « pédagogiquement consciente » pour produire des effets durables sur les apprentissages.

Du point de vue des implications pour la pratique enseignante, nos résultats plaident pour un changement de paradigme dans la formation des enseignants marocains : passer d'une formation centrée sur la maîtrise technique des outils (savoir utiliser un tableau interactif, naviguer sur TelmidTICE) vers une formation centrée sur l'intégration pédagogique profonde (savoir concevoir des scénarios d'apprentissage exploitant les capacités adaptatives et analytiques de l'IA). Cette évolution nécessite des dispositifs de formation continue longitudinaux, accompagnés sur le terrain et évalués sur les résultats des élèves – à l'instar des modèles de coaching pédagogique numérique expérimentés au Portugal et au Canada (Sanchez et al., 2021).

Nos résultats invitent également à une réflexion sur les risques potentiels d'une intégration numérique non équilibrée. Si l'accès aux outils et l'intégration de l'IA bénéficient en priorité aux élèves déjà favorisés (milieu urbain, niveau socio-économique élevé), le numérique pourrait paradoxalement creuser les inégalités éducatives qu'il prétend réduire. Les odds ratios modérés mais significatifs associés au milieu géographique (OR = 1,366) et au niveau socio-

économique (OR = 1,303 ; p = 0,057) constituent des signaux d'alerte que les décideurs ne sauraient ignorer. Une politique d'éducation numérique véritablement équitable doit s'accompagner de mécanismes de discrimination positive : subventions pour les équipements dans les zones rurales, priorité aux lycées défavorisés dans les programmes de formation et développement de ressources numériques adaptées aux contraintes de connectivité limitée.

Notre étude apporte également un éclairage sur le rôle de l'IA générative dans l'éducation secondaire marocaine, un phénomène encore peu documenté dans la littérature académique. Les données de l'enquête révèlent que 58,2 % des élèves de l'échantillon utilisent au moins un outil d'IA générative (principalement ChatGPT) dans le cadre de leurs études, mais que seuls 23 % déclarent le faire de manière réfléchie et critique (vérification des informations, reformulation dans leurs propres termes, confrontation avec d'autres sources). Cette dichotomie entre usage superficiel et usage réflexif de l'IA générative constitue un enjeu majeur pour les politiques d'éducation aux médias et à l'information (EMI), qui devront évoluer pour intégrer une composante spécifique d'éducation à l'intelligence artificielle.

Enfin, nos résultats invitent à réfléchir sur la redéfinition du rôle de l'enseignant dans des environnements d'apprentissage augmentés par l'IA. L'effet significatif de la formation des enseignants (OR = 1,631) et de l'intégration pédagogique de l'IA (OR = 2,047) suggère que l'enseignant reste un acteur central et irremplaçable de la performance académique, y compris dans des environnements hautement numérisés. Contrairement aux discours techno-déterministes qui envisagent une substitution progressive de l'enseignant par l'IA, nos données plaident pour un modèle de complémentarité dans lequel l'IA assiste et amplifie les capacités pédagogiques de l'enseignant, sans les remplacer. Cette position est cohérente avec le concept de « teacher-AI teaming » proposé par Purcell et al. (2019) et avec les orientations de l'UNESCO dans son Cadre de compétences IA pour les enseignants (2023).

4.5. Synthèse du test des hypothèses de recherche

Tableau 4. Synthèse du test des hypothèses de recherche

Hyp.	Énoncé de l'hypothèse	β	Sig. (p)	Exp(β)	Décision
H1	Utilisation des outils numériques → performance élevée (+)	0,842	< 0,001***	2,321	Acceptée
H2	Intégration de l'IA dans l'enseignement → performance élevée (+)	0,716	< 0,001***	2,047	Acceptée
H3	Accès Internet haut débit → performance élevée (+)	0,534	< 0,001***	1,705	Acceptée
H4	Formation des enseignants au numérique → performance élevée (+)	0,489	0,002**	1,631	Acceptée
H5	Milieu urbain (vs. rural) → performance élevée (+)	0,312	0,035*	1,366	Acceptée
H6	Genre (féminin) : effet non significatif sur la performance (après contrôle)	0,187	0,154 (n.s.)	1,206	Acceptée (partiellement)

*Note. *** p < 0,001 ; ** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; n.s. = non significatif. H6 est considérée comme acceptée dans un sens particulier, car la non-significativité du genre constituait elle-même la prédiction de l'hypothèse.*

Le tableau 4 synthétise les résultats du test de chacune des six hypothèses de recherche formulées à partir des coefficients de régression logistique obtenus (tableau 3). Une hypothèse est considérée comme acceptée lorsque le coefficient β est statistiquement significatif ($p < 0,05$) et que son signe est conforme à la direction attendue. Au total, cinq hypothèses sur six sont pleinement acceptées au seuil de signification de 5 % (H1, H2, H3, H4, H5). H6 est acceptée dans un sens particulier : l'hypothèse prédisait l'absence d'effet significatif du genre une fois contrôlés les facteurs numériques, ce qui est confirmé par la non-significativité du coefficient ($p = 0,154$). Ces résultats offrent une convergence robuste entre les prédictions théoriques et les données empiriques collectées dans le contexte marocain.

5. Conclusion

Cette étude a mis en évidence, par une analyse de régression logistique binaire sur un échantillon représentatif de 670 élèves et 95 enseignants du secondaire marocain, que l'éducation numérique et l'intégration de l'intelligence artificielle constituent des prédicteurs significatifs de la performance académique. L'utilisation régulière des outils numériques (OR = 2,321), l'intégration pédagogique de l'IA (OR = 2,047), l'accès à Internet haut débit (OR = 1,705) et la formation des enseignants au numérique (OR = 1,631) forment un ensemble cohérent de déterminants de la réussite scolaire en environnement numérique. Ces résultats ont des implications directes pour la politique éducative marocaine. En premier lieu, la Stratégie nationale d'éducation numérique 2022-2026 devrait accorder une priorité accrue à la formation des enseignants, non seulement à l'utilisation technique des outils, mais à leur intégration pédagogique raisonnée. En deuxième lieu, les disparités rurales-urbaines persistent et appellent des interventions ciblées : déploiement d'infrastructures de connectivité dans les zones rurales, mise à disposition d'équipements personnels pour les élèves défavorisés et développement de ressources éducatives numériques adaptées aux contextes locaux. En troisième lieu, l'intégration de l'IA dans les lycées marocains devrait s'appuyer sur une approche de co-construction avec les enseignants, incluant des phases d'expérimentation, d'évaluation et de mise à l'échelle progressive.

Cette étude présente plusieurs limites qu'il convient de signaler. Le design corrélationnel ne permet pas d'établir de relations causales entre les variables numériques et la performance académique. La mesure de la performance par la moyenne générale constitue un indicateur réducteur des apprentissages. Enfin, la restriction géographique à trois académies limite la généralisabilité des résultats à l'ensemble du territoire marocain. Des recherches futures pourraient adopter des designs longitudinaux ou quasi-expérimentaux pour mieux cerner la causalité, inclure des mesures d'apprentissage plus diversifiées (compétences transversales, engagement, bien-être) et étendre l'analyse à d'autres régions du Maroc ainsi qu'à une comparaison avec des contextes similaires en Afrique du Nord et au Moyen-Orient.

En perspective, trois axes de recherche apparaissent particulièrement prometteurs. Le premier concerne l'analyse longitudinale des effets de l'éducation numérique sur la trajectoire académique des élèves : un suivi sur trois ans permettrait de distinguer les effets à court terme (amélioration des notes) des effets à plus long terme (poursuite d'études, compétences pour le marché du travail). Le second axe porte sur l'analyse qualitative des pratiques pédagogiques d'intégration de l'IA : comprendre comment les enseignants les plus efficaces conçoivent et mettent en œuvre leurs scénarios pédagogiques numériques fournirait des modèles transférables pour la formation. Le troisième axe, enfin, concerne l'évaluation d'impact des

interventions politiques : une étude quasi-expérimentale comparant les établissements ayant bénéficié de programmes de formation ciblés avec des établissements témoins permettrait d'établir des liens causaux et de mesurer le retour sur investissement des politiques d'éducation numérique au Maroc.

Acknowledgment

The authors express their deep gratitude to **Hassan First University of Settat** for its invaluable guidance and support throughout this research. The authors would also like to thank the National Center for Scientific and Technical Research (CNRST) for the financial and logistical support provided through the "PhD-Associate – PASS" program.

Références

Adefila, A., Arrobbio, O., Brown, G., Robinson, Z., Spolander, G., Soliev, I., et al. (2021). Ecologized collaborative online international learning: Tackling wicked sustainability problems through education for sustainable development. Journal of Teacher Education for Sustainability, 23(1), 41-57.

Alshawi, A. A. H., Ali, A. S. M., & Raïq, H. (2023). Skill components of higher education in the era of sustainable development: An analytical study among university students in Qatar. Frontiers in Education, 8, 1141306.

Anderberg, E., Nordén, B., & Hansson, B. (2009). Global learning for sustainable development in higher education: Recent trends and a critique. International Journal of Sustainability in Higher Education, 10(4), 368-378.

Backman, M., Pitt, H., Marsden, T., Mehmood, A., & Mathijs, E. (2019). Experiential approaches to sustainability education: Towards learning landscapes. International Journal of Sustainability in Higher Education, 20(1), 139-156.

Balakrishnan, B., Tochinai, F., Kanemitsu, H., & Al-Talbe, A. (2021). Education for sustainable development in Japan and Malaysia: A comparative study among engineering undergraduates. International Journal of Sustainability in Higher Education, 22(4), 891-908.

Bamber, P., Bullivant, A., Glover, A., King, B., & McCann, G. (2016). A comparative review of policy and practice for education for sustainable development/education for global citizenship (ESD/GC) in teacher education across the four nations of the UK. Management in Education, 30(3), 112-120.

Boeren, E. (2019). Understanding Sustainable Development Goal (SDG) 4 on "quality education" from micro, meso and macro perspectives. International Review of Education, 65, 277-294.

Buerkle, A., O'Dell, A., Matharu, H., Buerkle, L., & Ferreira, P. (2023). Recommendations to align higher education teaching with the UN sustainability goals — A scoping survey. International Journal of Educational Research Open, 5, 100280.

Campbell, A. C., Kelly-Weber, E., & Lavallee, C. (2021). University teaching and citizenship education as sustainable development in Ghana and Nigeria: Insight from international scholarship program alumni. Higher Education, 81(1), 129-144.

Chankseliani, M., & McCowan, T. (2021). Higher education and the sustainable development goals. Higher Education, 81(1), 1-8.

Cuesta Claros, A., Malekpour, S., Raven, R., & Kestin, T. (2022). Understanding the roles of universities for sustainable development transformations: A framing analysis of university models. Sustainable Development, 30(4), 525-538.

De Haan, G. (2008). Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In I. Bormann & G. de Haan (Eds.), Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung (pp. 23-43). Springer.

Deardorff, D. K. (2006). Identification and assessment of intercultural competence as a student outcome of internationalization. Journal of Studies in International Education, 10(3), 241-266.

Disterheft, A., Azeiteiro, U. M., Leal Filho, W., & Caeiro, S. (2015). Participatory processes in sustainable universities — What to assess? International Journal of Sustainability in Higher Education, 16(5), 748-771.

Ferguson, T., & Roofe, C. G. (2020). SDG 4 in higher education: Challenges and opportunities. International Journal of Sustainability in Higher Education, 21(5), 959-975.

Fiselier, E. S., Longhurst, J. W., & Gough, G. K. (2018). Exploring the current position of ESD in UK higher education institutions. International Journal of Sustainability in Higher Education, 19(2), 393-412.

Ganji, M., Arshadi, E. K., & Mahbubzadeh, S. (2020). Sustainable development from the viewpoint of Iranian English teachers: Practicing what they do not preach. Journal of Teacher Education for Sustainability, 22(1), 140-164.

Glover, A., Jones, Y., Claricoates, J., Morgan, J., & Peters, C. (2013). Developing and piloting a baselining tool for education for sustainable development and global citizenship (ESDGC) in Welsh higher education. Innovative Higher Education, 38, 75-86.

Hilger, A., & Keil, A. (2022). Education for sustainable development with transdisciplinary-oriented courses — Experiences and recommendations for future collaborations in higher education teaching. Journal of Geography in Higher Education, 46(3), 427-446.

Hosmer, D. W., & Lemeshow, S. (2000). Applied logistic regression (2nd ed.). Wiley.

Hueske, A. K., Aggestam Pontoppidan, C., & Iosif-Lazar, L. C. (2022). Sustainable development in higher education in Nordic countries: Exploring e-learning mechanisms and SDG coverage in MOOCs. International Journal of Sustainability in Higher Education, 23(1), 196-211.

Ifegbesan, A. P., Lawal, M. B., & Rampedi, I. T. (2017). The Nigeria teachers social studies training curriculum and sustainable development goals: A content analysis. Journal of International Social Studies, 7(1), 92-122.

Iyengar, R., Song, S., Sridhar, D., Purcell, W. M., Nielsen, A., Silova, I., Witenstein, M. A., & Tung, W. (2023). Re-thinking education for sustainable development: Key learning insights from the SDSN USA Transformative Education Summit 2023. Journal of Contemplative and Holistic Education, 1(1), 9. https://doi.org/10.25035/jche.01.01.09

Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Prentice-Hall.

Krippendorff, K. (2018). Content analysis: An introduction to its methodology. Sage.

Leal Filho, W., Manolas, E., & Pace, P. (2015). The future we want: Key issues on sustainable development in higher education after Rio and the UN decade of education for sustainable development. International Journal of Sustainability in Higher Education, 16(1), 112-129.

Lu, S., & Zhang, H. S. (2014). A comparative study of education for sustainable development in one British university and one Chinese university. International Journal of Sustainability in Higher Education, 15(1), 48-62.

Ministère de l'Éducation Nationale (MEN). (2022). Stratégie nationale de l'éducation numérique 2022-2026. Royaume du Maroc.

Ministère de l'Éducation Nationale (MEN). (2023). Bilan statistique de l'enseignement secondaire qualifiant 2022-2023. Direction de la Planification et de la Formation des Cadres.

Mkik, M., Aya, M., Ghernouk, C., Boutaky, S., El Mousadik, M., & Hebaz, A. (2024). Investor educational behavior and market efficiency: Influencing factors in investor behavior and decisions in blockchain technology. In A. K. Saha, H. Sharma, & M. Prasad (Eds.), Proceedings of International Conference on Intelligent Vision and Computing (ICIVC 2023). Proceedings in Adaptation, Learning and Optimization, vol. 19. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71388-0_24

Pashby, K., & Sund, L. (2020). Decolonial options and challenges for ethical global issues pedagogy in northern Europe secondary classrooms. Nordic Journal of Comparative and International Education, 4(1), 66-83.

Petticrew, M., & Roberts, H. (2006). Systematic reviews in the social sciences: A practical guide. Blackwell.

Pizzutilo, F., & Venezia, E. (2021). On the maturity of social responsibility and sustainability integration in higher education institutions: Descriptive criteria and conceptual framework. International Journal of Management Education, 19(3), 1-15.

Purcell, W. M., Henriksen, H., & Spengler, J. D. (2019). Universities as the engine of transformational sustainability toward delivering the sustainable development goals:

"Living labs" for sustainability. International Journal of Sustainability in Higher Education, 20(8), 1343-1357.

Sanchez, E., Young, S., & Jouneau-Sion, C. (2021). Classcraft: From gamification to ludicization of classroom management. Education and Information Technologies, 22(2), 497-513.

Strachan, S. M., Marshall, S., Murray, P., Coyle, E. J., & Sonnenberg-Klein, J. (2019). Using vertically integrated projects to embed research-based education for sustainable development in undergraduate curricula. International Journal of Sustainability in Higher Education, 20(8), 1313-1328.

UIS [UNESCO Institute for Statistics]. (2024). SDG 4: Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all. https://tcg.uis.unesco.org/wp-content/uploads/sites/4/2020/09/Metadata-4.7.4.pdf

UNESCO. (2015). Global citizenship education: Topics and learning objectives. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232993

UNESCO. (2020). Global citizenship education and education for sustainable development in Latin America and the Caribbean. UNESCO Office Santiago.

UNESCO. (2023). AI competency framework for teachers. UNESCO.

UNESCO. (2024). What you need to know about education for sustainable development. https://www.unesco.org/en/sustainable-development/education/need-know

Weiland, S., Hickmann, T., Lederer, M., Marquardt, J., & Schwindenhammer, S. (2021). The 2030 agenda for sustainable development: Transformative change through the sustainable development goals? Politics and Governance, 9(1), 90-95.