

Technologies émergentes en éducation : potentiel et défis de la personnalisation via l'IA et la chaîne de blocs

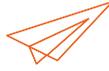
<https://doi.org/10.52358/mm.vi19.406>

Yassine El Bahlouli, enseignant et chercheur
Université Laval, Canada
yassine.el-bahlouli.1@ulaval.ca

RÉSUMÉ

Cet article examine comment l'analytique de l'apprentissage, l'intelligence artificielle (IA) et la chaîne de blocs transforment la personnalisation de l'éducation. En explorant la littérature récente, il identifie les contributions et les défis de ces technologies dans l'amélioration des parcours éducatifs. L'analyse suggère que l'intégration de ces technologies offre des opportunités uniques pour la personnalisation de l'apprentissage, tout en soulevant des questions importantes sur la sécurité, la confidentialité et l'équité. La convergence de l'IA, de l'analytique de l'apprentissage et de la technologie de la chaîne de blocs promet une révolution dans la manière dont l'éducation est délivrée et reçue, permettant une adaptation précise au profil de chaque apprenant. Cette intégration technologique, cependant, exige une réflexion approfondie sur les cadres éthiques et réglementaires pour garantir que la personnalisation de l'éducation bénéficie à tous, sans compromettre la sécurité des données ni accentuer les inégalités. L'article plaide pour une collaboration étroite entre développeurs technologiques, éducateurs et décideurs politiques pour relever ces défis et exploiter pleinement le potentiel de ces technologies émergentes dans l'éducation.

Mots-clés : analytique de l'apprentissage, intelligence artificielle, chaîne de blocs, personnalisation de l'éducation, éthique dans l'éducation, accès équitable à l'éducation, apprentissage adaptatif



Introduction

L'évolution rapide des technologies de l'information et de la communication (TIC) a profondément transformé le paysage éducatif, offrant des possibilités inédites de personnalisation de l'apprentissage.

Parmi ces technologies, l'intelligence artificielle (IA) et la chaîne de blocs se distinguent par leur potentiel à personnaliser l'expérience d'apprentissage en fonction des besoins individuels des apprenants tout en assurant la sécurité et la transparence des données éducatives. Cette convergence technologique ouvre la voie à une personnalisation de l'éducation, capable de s'adapter en temps réel aux compétences et aux préférences des étudiants (Crompton et Burke, 2023; Kabudi *et al.*, 2021). L'IA, par exemple, permet d'adapter les contenus pédagogiques et d'offrir un accompagnement personnalisé en temps réel tandis que la chaîne de blocs offre des solutions sécurisées pour la certification et la gestion des données éducatives (Inamorato Dos Santos *et al.*, 2017).

L'analytique de l'apprentissage utilise des données, des analyses statistiques et des méthodes d'apprentissage machine pour améliorer la compréhension et l'optimisation des environnements et des processus d'apprentissage (Andrea Deau, interviewé par Nagel, 2023). L'IA, de son côté, offre des outils capables de simuler l'intelligence humaine, soutenant ainsi l'adaptation et la personnalisation des parcours d'apprentissage à grande échelle (Dickler, 2021). Quant à la chaîne de blocs, elle propose un cadre décentralisé et sécurisé pour la traçabilité des acquis éducatifs, renforçant la confiance dans les qualifications et facilitant la mobilité scolaire et professionnelle des apprenants (Anne et El Bahlouli, 2023a).

Cependant, ces innovations technologiques ne sont pas sans poser de défis importants. En effet, bien que l'IA et la chaîne de blocs promettent une personnalisation accrue de l'éducation, leur intégration soulève des questions complexes concernant l'équité d'accès, la confidentialité des données et les risques de discrimination algorithmique (Holmes *et al.*, 2019). De plus, l'impact environnemental et les coûts sociaux associés à la mise en œuvre de ces technologies à grande échelle doivent être soigneusement considérés (Bryson, 2019).

Ainsi, cet article examine le potentiel et les défis de la personnalisation de l'éducation via l'IA et la chaîne de blocs. Nous explorerons comment ces technologies peuvent être intégrées de manière éthique et efficace dans les systèmes éducatifs, tout en tenant compte des limites et des risques qu'elles peuvent engendrer. Cette réflexion s'inscrit dans une perspective critique, en évaluant non seulement les avantages, mais aussi les implications sociales et pédagogiques de ces technologies émergentes.

Méthodologie

Cette recherche s'inscrit dans une démarche de revue intégrative de la littérature visant à explorer le potentiel et les défis de l'intelligence artificielle (IA) et de la chaîne de blocs dans la personnalisation de l'éducation. Contrairement à une revue systématique, cette approche permet d'intégrer et de synthétiser des connaissances provenant d'une variété de sources, incluant des études empiriques, des théories, des opinions d'experts, ainsi que des rapports non universitaires (Torraco, 2016).

La démarche méthodologique adoptée se structure comme suit.



Sélection des sources

Pour la sélection et l'analyse des publications, nous adoptons une approche méthodologique mixte, combinant à la fois les méthodes empiriques-analytiques, qui se concentrent sur la connaissance objective et le raisonnement déductif à partir de théories existantes, et les méthodes interprétatives, axées sur la compréhension phénoménologique des pratiques des sujets (University of Southern California, 2021) et en s'inspirant des recommandations de Creswell et Creswell (2017).

La sélection des sources s'est opérée en deux phases. Premièrement, les publications ont été sélectionnées dans plusieurs bases de données de recherches universitaires majeures, telles que PubMed, IEEE Xplore, Scopus, et Google Scholar. En complément, des rapports industriels, des études de cas et des articles théoriques ont été inclus pour capturer une vue d'ensemble plus large des technologies émergentes. La période de publication couverte est de 2018 à 2023, avec des mots-clés comme « intelligence artificielle en éducation », « chaîne de blocs en éducation » et « personnalisation de l'apprentissage », reflétant ainsi les développements les plus récents dans ces domaines.

Deuxièmement, une sélection ciblée a été effectuée, basée sur l'adéquation des études avec la problématique de recherche, leur contribution scientifique et leur pertinence pratique. Les sources retenues ont été soumises à une analyse thématique, regroupant les résultats selon des catégories clés telles que les applications des technologies, les avantages et les limites perçus, les défis éthiques et les implications sociales (Whittemore et Knafl, 2005). Cette approche permet d'intégrer des perspectives variées, tout en maintenant l'attention sur l'impact de ces technologies sur la personnalisation de l'éducation. Les critères incluaient la pertinence par rapport à la problématique, la qualité de la recherche (évaluée par la méthode de recherche et la revue par les pairs) et la disponibilité en texte intégral.

Critères d'analyse

Enfin, la manière d'analyser les résultats est guidée par les principes de l'analyse qualitative et quantitative, comme décrite par les guides méthodologiques dans les sciences sociales et comportementales, pour assurer une évaluation précise des relations, des tendances et des distributions dans les données recueillies (University of Southern California, 2021).

L'analyse des sources sélectionnées s'est appuyée sur une grille d'évaluation élaborée pour cet effet et comprenant plusieurs axes : l'impact de l'IA et de la chaîne de blocs sur la personnalisation de l'apprentissage, les modèles pédagogiques innovants soutenus par l'analytique de l'apprentissage, les questions éthiques et les défis liés à l'implémentation de ces technologies.

Grille d'analyse

- Dimensions d'analyse : Nous avons développé une grille d'analyse multidimensionnelle basée sur les objectifs spécifiques de notre recherche : 1) Applications et cas d'usage, 2) Avantages et limites, 3) Stratégies de personnalisation et 4) Défis technologiques et pédagogiques.
- Critères d'évaluation : Chaque article a été évalué selon l'originalité de la contribution, la méthodologie employée, l'impact sur la personnalisation de l'éducation et la discussion des implications pratiques et théoriques.

Cette approche multidimensionnelle a permis d'embrasser la complexité du sujet, d'identifier des *patterns* émergents et de formuler des recommandations pour les praticiens et les décideurs dans le secteur éducatif.



Synthèse des données

Les données ont été synthétisées de manière à mettre en lumière les convergences et les divergences dans la littérature existante, et à intégrer des réflexions critiques sur les implications des technologies dans l'éducation. Cette méthode offre une vue d'ensemble nuancée, facilitant une compréhension globale des enjeux associés à l'IA et à la chaîne de blocs.

L'état de l'art

Introduction à l'état de l'art

L'intégration de l'analytique de l'apprentissage, de l'intelligence artificielle (IA) et de la chaîne de blocs dans le domaine éducatif représente une avancée majeure vers une personnalisation accrue de l'enseignement et une efficacité pédagogique renforcée (Crompton et Burke, 2023; Kabudi *et al.*, 2021). Ces technologies, en pleine émergence, offrent des moyens innovants pour analyser les besoins individuels des apprenants, optimiser l'environnement d'apprentissage et sécuriser les données éducatives (Andrea Deau, interviewé par Nagel, 2023; Dickler, 2021).

Cette revue de littérature explore l'impact actuel et potentiel de ces technologies sur les méthodes d'enseignement et d'apprentissage, soulignant leur rôle clé dans la transformation du paysage éducatif (Anne et El Bahlouli, 2023a). En s'appuyant sur des cadres théoriques tels que le constructivisme, le socioconstructivisme et l'apprentissage expansif, cette intégration technologique favorise des approches éducatives innovantes qui respectent et valorisent la diversité cognitive et culturelle des apprenants. Cette analyse vise non seulement à dresser un état des lieux des recherches actuelles, mais aussi à identifier les directions futures pour une intégration efficace de ces technologies dans l'éducation, en vue de répondre de manière personnalisée, mais responsable et éthique, aux besoins variés des apprenants.

Cadres théoriques et personnalisation de l'apprentissage

Selon le constructivisme, une théorie élaborée par Piaget et enrichie par Ausubel, l'apprentissage est conceptualisé comme un processus actif où les connaissances sont construites sur la base des expériences individuelles. Cette vision souligne l'importance d'adapter les méthodes éducatives aux structures cognitives uniques de chaque apprenant, une perspective qui trouve un écho dans l'usage de l'IA pour fournir une éducation sur mesure (Piaget, 1952; Ausubel, 1968).

Le socioconstructivisme, quant à lui, met en avant l'apprentissage comme un phénomène social et collaboratif. Dans les travaux de Vygotsky et Bruner, cette approche souligne le rôle des interactions sociales et de la culture dans le développement cognitif, s'alignant sur les possibilités offertes par les technologies numériques pour faciliter des environnements d'apprentissage collaboratifs (Vygotsky, 1978; Bruner, 1960).

De même, le constructionnisme de Papert promeut un modèle éducatif basé sur l'expérimentation et la création, mettant en lumière le potentiel des outils numériques pour engager les apprenants dans des projets significatifs qui reflètent leurs intérêts personnels (Papert, 1980).



En outre, la théorie des construits personnels de Kelly met en exergue l'importance d'une approche personnalisée de l'apprentissage, en reconnaissant que chaque individu interprète le monde à partir de modèles uniques, nécessitant ainsi des stratégies éducatives adaptées à leur compréhension individuelle (Kelly, 1955).

L'apprentissage social et l'apprentissage expansif, respectivement théorisés par Bandura et Engeström, complètent ce tableau en reconnaissant l'influence du contexte social et de la collaboration dans le développement des compétences et des connaissances, tout en mettant en avant l'importance de l'innovation et de la transformation collective dans les processus d'apprentissage (Bandura, 1977; Engeström, 1987).

Le véritable défi consiste à appliquer ces théories dans des contextes pédagogiques où l'apprentissage individualisé est majoritairement conduit par des plateformes technologiques. Dans ce cadre, les technologies comme l'IA ou la chaîne de blocs ne doivent pas se limiter à des interactions entre un étudiant et une plateforme, mais doivent intégrer des dynamiques sociales. La personnalisation ne devrait pas se faire au détriment de l'expérience collective, essentielle à la socialisation des différences de compétences et de connaissances.

Les théories socioconstructivistes, en particulier, insistent sur le rôle fondamental des interactions entre pairs et avec les enseignants dans le développement cognitif. Comment ces interactions peuvent-elles être mises en œuvre concrètement dans un environnement numérisé? Plusieurs stratégies pédagogiques peuvent être envisagées :

- Des projets collaboratifs peuvent être créés dans des environnements numériques où les étudiants travaillent ensemble sur des tâches complexes, facilitant ainsi la socialisation des compétences et l'apprentissage en commun (Dillenbourg, 2000). Cela permettrait aux apprenants d'intégrer des perspectives diverses et de développer leurs compétences collaboratives, même dans des contextes individualisés.
- L'IA pourrait être utilisée pour offrir une rétroaction personnalisée à chaque étudiant, mais également pour faciliter des moments de retour collaboratif où les apprenants échangent sur leurs progrès, critiques ou expériences d'apprentissage, renforçant ainsi le processus de construction sociale des connaissances (Vygotsky, 1978).
- Les plateformes éducatives pourraient utiliser des simulations collaboratives où les étudiants interagissent pour résoudre des problèmes complexes. Ces activités permettent de maintenir un lien avec l'apprentissage expérientiel prôné par le constructionnisme de Papert, tout en intégrant les dynamiques de groupe (Papert, 1980).

Ces cadres théoriques fournissent un fondement solide pour comprendre comment l'analytique de l'apprentissage, l'IA et la chaîne de blocs peuvent être employées pour réaliser une personnalisation profonde et significative de l'éducation. En alignant les technologies émergentes avec ces principes pédagogiques, il est possible de concevoir des expériences éducatives qui non seulement respectent mais enrichissent la diversité des apprenants, en offrant des parcours d'apprentissage adaptés à leurs besoins, leurs expériences et leurs contextes individuels.



L'analytique de l'apprentissage et la personnalisation de l'éducation

L'analytique de l'apprentissage utilise des données générées par les apprenants pour améliorer les processus d'enseignement et d'apprentissage. En analysant les interactions des étudiants avec les ressources éducatives, elle permet d'identifier les modèles comportementaux et d'adapter les stratégies pédagogiques en conséquence (Siemens, 2013; Baker et Siemens, 2014).

L'analytique de l'apprentissage constitue un champ disciplinaire émergent qui tire parti des vastes quantités de données générées par les étudiants pour améliorer les environnements et les processus éducatifs. Siemens (2013) a été parmi les premiers à conceptualiser cette discipline, soulignant son potentiel à transformer l'éducation par le biais d'analyses poussées et de méthodologies de *data science*. Baker et Siemens (2014) ont ensuite étendu cette vision en démontrant comment l'analytique de l'apprentissage, en combinaison avec l'exploration de données éducatives, peut mener à la création d'environnements d'apprentissage hautement adaptatifs et personnalisés, capables de répondre aux besoins individuels des apprenants de manière précise et en temps réel.

Le potentiel transformationnel de l'analytique de l'apprentissage, associée à l'intelligence artificielle (IA) et à la technologie de la chaîne des blocs dans l'éducation, facilite une personnalisation plus précise et réactive des parcours d'apprentissage (Andrea Deau, interviewé par Nagel, 2023).

L'analytique de l'apprentissage se concentre sur l'exploitation des données générées par les étudiants pour optimiser les processus d'enseignement et d'apprentissage. Cette approche utilise des techniques avancées de traitement de données pour analyser les comportements d'apprentissage, les performances et les préférences des étudiants, permettant ainsi une personnalisation profonde des parcours éducatifs (Devedžić, 2004).

Cette analyse des données permet d'identifier les modèles de comportement, de prédire les performances futures et de détecter les besoins spécifiques des apprenants, facilitant ainsi une intervention éducative plus ciblée et personnalisée. Les recherches montrent que l'application de ces analyses peut considérablement améliorer l'engagement des étudiants, leur motivation et, ultimement, leurs résultats d'apprentissage (Gašević *et al.*, 2014).

L'analytique de l'apprentissage, une innovation majeure dans le domaine éducatif, tire parti de données et d'analyses avancées pour décrypter et optimiser les processus d'apprentissage. Cette démarche implique une collecte méticuleuse, une analyse perspicace et une utilisation stratégique des données relatives à l'apprentissage pour personnaliser l'expérience éducative. Au cœur de cette approche réside l'intelligence artificielle (IA) qui, grâce à sa capacité de traiter de vastes volumes de données en temps réel, joue un rôle crucial dans la prédiction des performances des apprenants et la personnalisation des parcours d'apprentissage (Crompton et Burke, 2023).

L'analytique de l'apprentissage se décompose en plusieurs aspects essentiels, chacun contribuant à la personnalisation et à l'efficacité du processus éducatif. Les trois aspects suivants sont à considérer plus spécifiquement.

Adaptation des contenus : Les systèmes basés sur l'analytique de l'apprentissage peuvent adapter dynamiquement les contenus pédagogiques aux niveaux de compétence et aux styles d'apprentissage des étudiants, assurant ainsi une expérience éducative plus engageante et efficace (Greene Nolan et Vang, 2023).

Feedback personnalisé : L'analytique de l'apprentissage permet de fournir des retours personnalisés aux étudiants, en identifiant leurs points forts et les domaines nécessitant une amélioration, facilitant ainsi un apprentissage ciblé et efficace (Lai, 2021).



Prévention du décrochage : Des organisations comme la University System of Georgia en collaboration avec le National Institute for Student Success ont mis en place des systèmes d'alerte précoce basés sur l'analytique de l'apprentissage pour identifier les étudiants à risque et intervenir avant qu'ils ne décrochent (University System of Georgia, 2024).

L'analytique de l'apprentissage joue un rôle clé dans la personnalisation de l'éducation, permettant une adaptation précise des méthodes d'enseignement et des ressources pédagogiques aux besoins uniques de chaque étudiant. Elle soutient le développement de parcours éducatifs personnalisés, offrant une opportunité sans précédent pour améliorer l'expérience d'apprentissage et les résultats éducatifs.

Une étude récente menée dans une université européenne a exploré l'utilisation de l'analytique de l'apprentissage pour identifier les étudiants à risque d'échec précoce dans les cours en ligne. En analysant les motifs de connexion et les interactions avec le matériel de cours, les chercheurs ont pu prédire avec précision le décrochage potentiel et intervenir avec des stratégies de soutien ciblées (Siemens, 2013).

Bien que l'analytique de l'apprentissage offre des avantages substantiels pour la personnalisation de l'éducation, son utilisation soulève également d'importants défis éthiques et moraux. Ces préoccupations incluent la confidentialité des données des apprenants, le consentement éclairé pour le traitement de leurs informations et le risque potentiel de biais algorithmiques qui pourraient affecter négativement certains groupes d'étudiants.

La question de la confidentialité des données est particulièrement préoccupante, car l'analytique de l'apprentissage repose sur la collecte et l'analyse de vastes quantités d'informations personnelles. Il est impératif que les organisations éducatives et les fournisseurs de technologies mettent en place des politiques strictes de protection des données pour sécuriser ces informations contre les accès non autorisés ou les fuites de données (Slade et Prinsloo, 2013).

Le consentement éclairé des étudiants est un autre enjeu majeur. Les apprenants doivent être pleinement informés de la manière dont leurs données sont utilisées et avoir la possibilité de choisir de ne pas participer à certaines formes de suivi analytique. Cette transparence et cette autonomie sont essentielles pour maintenir la confiance et respecter les droits individuels (Drachsler et Greller, 2016).

Enfin, le risque de biais dans l'analytique de l'apprentissage peut entraîner des discriminations involontaires. Les algorithmes peuvent perpétuer ou même amplifier les inégalités existantes si les données sur lesquelles ils sont formés ne sont pas représentatives de la diversité des populations étudiantes. Identifier et corriger ces biais est essentiel pour garantir que l'analytique de l'apprentissage favorise une éducation inclusive et équitable (Zook *et al.*, 2017).

La personnalisation grâce à l'analytique de l'apprentissage offre plusieurs avantages significatifs, tels que l'amélioration de l'engagement des étudiants, une meilleure rétention des connaissances et une augmentation des taux de réussite. Elle aide à créer des parcours d'apprentissage qui résonnent avec les préférences individuelles et les besoins des apprenants. Cependant, l'analytique de l'apprentissage présente des défis, notamment en termes de confidentialité des données, et en ce qui concerne la nécessité d'une infrastructure technologique solide pour le traitement et l'analyse des données ainsi que pour développer des compétences en analyse de données chez les éducateurs. La recherche future devrait explorer des moyens d'intégrer éthiquement et efficacement l'analytique de l'apprentissage dans les pratiques pédagogiques, en veillant à l'équité des bénéfices pour tous les étudiants (Saastamoinen *et al.*, 2023).



L'IA dans la personnalisation de l'apprentissage en éducation

L'IA, en s'appuyant sur la théorie de l'apprentissage machine, développe des algorithmes capables d'identifier des modèles au sein des données d'apprentissage. Ces modèles permettent de prédire les performances futures des apprenants, d'identifier les besoins de soutien individualisés et de contribuer à la conception de parcours d'apprentissage personnalisés. L'analytique de l'apprentissage exploite ces capacités pour analyser le comportement des apprenants, ajuster le contenu pédagogique et fournir des retours pertinents et personnalisés (Kabudi *et al.*, 2021).

L'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans l'éducation promet de transformer les méthodes d'enseignement en personnalisant l'apprentissage à une échelle sans précédent. L'IA, grâce à ses algorithmes avancés, analyse les styles et rythmes d'apprentissage des étudiants pour proposer des contenus adaptés, optimiser les parcours éducatifs et faciliter l'évaluation formative, représentant ainsi une évolution significative dans l'approche pédagogique (Luckin *et al.*, 2016). Cette technologie permet une personnalisation de l'apprentissage en adaptant les contenus aux besoins individuels des apprenants, améliorant ainsi l'efficacité éducative (Crompton et Burke, 2023).

Les systèmes d'apprentissage adaptatifs, mis en évidence par Kabudi *et al.* (2021), illustrent la capacité de l'IA à guider les étudiants à travers des parcours d'apprentissage personnalisés, en ajustant les stratégies d'enseignement pour chaque individu. De plus, l'IA joue un rôle crucial dans l'analyse des données d'apprentissage, offrant des *insights* précieux pour améliorer les méthodes pédagogiques et soutenir les décisions éducatives.

Un exemple concret de l'impact de l'IA sur la personnalisation de l'enseignement peut être observé dans un projet pilote mené dans une école secondaire australienne. Ici, l'IA a été utilisée pour développer des parcours d'apprentissage personnalisés en mathématiques, où les algorithmes d'apprentissage machine adaptaient les exercices et le contenu en fonction des réponses et des progrès individuels de chaque élève, entraînant une amélioration significative des scores aux tests standardisés (Luckin *et al.*, 2016).

Cependant, l'adoption de l'IA dans l'éducation ne se limite pas à l'optimisation des parcours d'apprentissage individuels. Elle englobe également l'utilisation de tuteurs intelligents, qui fournissent des instructions et des retours personnalisés pour améliorer les compétences d'écriture des élèves du secondaire (Greene Nolan et Vang, 2023), et l'adaptation pédagogique, où l'IA soutient l'ajustement des stratégies d'enseignement aux besoins individuels (Guan *et al.*, 2023). Examinons plus précisément ces trois aspects :

Tuteurs intelligents : Par exemple, Carnegie Learning a développé un tuteur intelligent en mathématiques qui s'adapte aux besoins individuels des étudiants, montrant une amélioration importante des résultats d'apprentissage. L'utilisation de tuteurs intelligents, comme indiqué par Greene Nolan et Vang (2023), illustre comment l'IA peut soutenir l'apprentissage individuel en fournissant des instructions et des *feedbacks* personnalisés, améliorant ainsi les compétences d'écriture des élèves du secondaire.

Adaptation pédagogique : L'IA soutient l'adaptation des stratégies d'enseignement aux besoins individuels des apprenants, comme le montre l'étude de Guan *et al.* (2023) sur la réforme de l'enseignement de l'intelligence artificielle basée sur CDIO.

Analyse des sentiments : L'IA est utilisée pour analyser les *feedbacks* des étudiants, permettant aux enseignants d'ajuster leurs méthodes pédagogiques en fonction des émotions et attitudes des apprenants (Jacob *et al.*, 2023).



L'adoption de l'intelligence artificielle (IA) dans l'éducation offre un fort potentiel pour la personnalisation de l'apprentissage, mais elle soulève également des défis importants concernant l'éthique, la sécurité des données et l'équité. La confidentialité des données est une préoccupation majeure, car l'utilisation intensive de l'IA implique le traitement de grandes quantités d'informations personnelles et sensibles sur les étudiants. Il est essentiel d'adopter des protocoles de sécurité robustes pour protéger ces données contre les accès non autorisés ou les fuites (Bryson, 2019). De plus, le risque de biais algorithmique dans les systèmes d'IA peut conduire à des discriminations involontaires, affectant négativement certains groupes d'étudiants. L'équité dans l'accès aux ressources technologiques est également un défi, car tous les étudiants n'ont pas le même accès à la technologie, ce qui peut aggraver les inégalités existantes dans l'éducation (Pedró *et al.*, 2019).

Pour surmonter ces défis, une approche éthique et inclusive de l'intégration de l'IA dans l'éducation est nécessaire. Cela implique le développement de systèmes d'IA transparents et explicables, la mise en place de mécanismes pour identifier et corriger les biais, et la garantie d'un accès équitable aux technologies éducatives pour tous les étudiants. La collaboration entre les développeurs d'IA, les éducateurs, les décideurs et les communautés est cruciale pour concevoir des solutions qui respectent les principes de justice et d'inclusion, et qui profitent équitablement à tous les apprenants (Holmes *et al.*, 2019).

L'intégration réussie de l'IA dans les pratiques éducatives promet non seulement de personnaliser l'apprentissage, mais aussi de rendre l'enseignement plus inclusif, efficace et enrichissant. Pour réaliser ce potentiel, il est indispensable de naviguer avec prudence face aux implications éthiques et pratiques de l'IA, en s'assurant que son adoption favorise une expérience d'apprentissage qui est à la fois inclusive et équitable pour tous les étudiants (Luckin *et al.*, 2016).

La chaîne de blocs en éducation : synergie avec l'IA et l'analytique de l'apprentissage

La chaîne de blocs, au-delà de son association initiale avec les cryptomonnaies, offre un cadre innovant pour la gestion des données éducatives, caractérisé par sa décentralisation, sa sécurité et sa transparence. Inamorato Dos Santos *et al.* (2017) ont discuté de l'application de cette technologie dans le domaine de l'éducation, notamment pour la certification et la vérification des qualifications scolaires, la certification et la sécurisation des acquis éducatifs. En permettant l'enregistrement inaltérable des compétences et des diplômes, cette technologie assure une transparence et une vérifiabilité accrues, facilitant ainsi la mobilité scolaire et professionnelle des apprenants (Inamorato Dos Santos *et al.*, 2017).

Selon HolonIQ (2023) et Anne et El Bahlouli (2023b), l'IA et la chaîne de blocs connaissent une progression rapide dans le secteur éducatif, visant à développer de nouvelles solutions d'enseignement et d'apprentissage pour améliorer la qualité de l'éducation et promouvoir l'équité éducative.

La chaîne de blocs offre une solution innovante pour divers cas d'usage en éducation tels que la sécurisation des dossiers scolaires et la facilitation de la mobilité étudiante en offrant une plateforme fiable pour le stockage et le partage des informations scolaires (Anne et El Bahlouli, 2023b).

Elle assure l'intégrité et l'authenticité des diplômes et des certifications, un aspect crucial dans un monde où la fraude aux diplômes et les fausses qualifications sont des préoccupations croissantes. En combinaison avec l'IA, elle peut automatiser et sécuriser les processus de certification et d'accréditation, offrant une méthode fiable pour reconnaître les compétences et les acquis (Inamorato Dos Santos *et al.*, 2017; Anne et El Bahlouli, 2023b).



Des établissements prestigieux comme le Massachusetts Institute of Technology (MIT) ont adopté la chaîne de blocs pour émettre des diplômes numériques sécurisés via des applications mobiles, simplifiant le partage et la vérification des qualifications scolaires (Inamorato Dos Santos *et al.*, 2017). Cette initiative illustre la capacité de la chaîne de blocs à améliorer le processus de validation des acquis, renforçant la confiance entre les diplômés et les employeurs potentiels.

L'Université de Malte a également mis en place une initiative similaire, permettant la vérification instantanée des diplômes, ce qui aide à éliminer le risque de fraude et à optimiser les procédures de recrutement (Inamorato Dos Santos *et al.*, 2017). De plus, des projets pilotes explorent l'utilisation de la chaîne de blocs pour créer des dossiers d'apprentissage tout au long de la vie, permettant aux apprenants de compiler et de partager des preuves de formation continue, de microcertifications et d'apprentissage informel. Cette approche promeut une reconnaissance élargie des compétences au-delà des cadres éducatifs traditionnels.

EXEMPLES ET APPLICATIONS

1. Microcertifications sécurisées : Les établissements utilisent la chaîne de blocs pour émettre des microcertifications sécurisées et facilement vérifiables par les employeurs, en se basant sur les analyses de l'IA pour identifier les compétences spécifiques acquises par les apprenants (Arndt et Guercio, 2020).
2. Portefeuilles d'apprentissage numériques : Les apprenants peuvent accumuler et partager de manière sécurisée leurs acquis éducatifs dans des portefeuilles numériques basés sur la chaîne de blocs, enrichis par des données d'analytique de l'apprentissage pour mettre en avant leur parcours et compétences uniques (Bhaskar *et al.*, 2021).
3. Systèmes de recommandation personnalisés : En utilisant l'IA pour analyser les données d'apprentissage stockées sur une chaîne de blocs, les établissements peuvent développer des systèmes de recommandation sophistiqués pour guider les apprenants vers des ressources et des parcours adaptés à leurs besoins et objectifs (Bidarra et Mamede, 2019).

DÉCENTRALISATION ET PERSONNALISATION DE L'ÉDUCATION

La décentralisation inhérente à la chaîne de blocs encourage une plus grande autonomie des apprenants et des établissements, favorisant des parcours éducatifs personnalisés. Cette technologie permet aux apprenants de posséder et de contrôler leurs données éducatives, facilitant ainsi la mobilité scolaire et l'accès à des opportunités d'apprentissage tout au long de la vie (Bhaskar *et al.*, 2021; Anne et El Bahlouli, 2023a).

RENFORCEMENT DE LA CONFIANCE ET DE LA TRANSPARENCE

La technologie de la chaîne de blocs renforce la confiance dans les systèmes éducatifs en garantissant l'authenticité et la transparence des données éducatives. Cela est particulièrement pertinent dans le contexte de l'apprentissage en ligne et de la certification des compétences, où la vérifiabilité des acquis est cruciale (Anne et El Bahlouli, 2023b).

INTEROPÉRABILITÉ ET INNOVATION

L'interopérabilité offerte par la chaîne de blocs permet une intégration transparente des systèmes d'information éducatifs, encourageant ainsi l'innovation pédagogique et administrative. Les établissements peuvent collaborer plus facilement, partager des ressources et développer des programmes éducatifs interconnectés qui répondent aux besoins évolutifs des apprenants et de la société (Alammary *et al.*, 2019; Arndt et Guercio, 2020).



PERSONNALISATION DE L'APPRENTISSAGE

La synergie entre la chaîne de blocs, l'analytique de l'apprentissage et l'IA ouvre la voie à des innovations éducatives majeures. En combinant la sécurité et l'immutabilité des données fournies par la chaîne de blocs avec les capacités d'analyse et de personnalisation de l'IA, les établissements peuvent offrir des expériences d'apprentissage hautement adaptatives et personnalisées.

L'analytique de l'apprentissage et l'IA permettent une personnalisation poussée en adaptant les contenus et les parcours d'apprentissage aux besoins individuels des apprenants, en s'appuyant sur l'analyse des données de performance et de comportement. La chaîne de blocs complète cette personnalisation en sécurisant les dossiers d'apprentissage et en permettant aux apprenants de contrôler l'accès à leurs données éducatives, facilitant ainsi une mobilité scolaire et professionnelle transparente (Alammary *et al.*, 2019; Bhaskar *et al.*, 2021).

Discussion des résultats

Cette section vise à discuter les résultats issus de la revue de la littérature centrée sur l'examen de l'intégration et de l'impact de l'analytique de l'apprentissage, de l'intelligence artificielle (IA) et de la chaîne de blocs dans le domaine de l'éducation, mettant en lumière les applications, les avantages, les défis et les stratégies de personnalisation liés à cette intégration.

Les résultats de cette étude révèlent que l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) et de la chaîne de blocs dans les systèmes éducatifs offre des possibilités substantielles pour la personnalisation de l'apprentissage. Toutefois, ces technologies, bien qu'innovantes, posent des défis complexes qui doivent être abordés de manière holistique pour garantir leur succès.

Opportunités offertes par l'IA et la chaîne de blocs

L'IA, avec ses capacités d'analyse de données avancées, permet une personnalisation en temps réel qui peut potentiellement transformer l'expérience d'apprentissage en l'adaptant aux besoins spécifiques de chaque étudiant. Par exemple, des études ont montré que les systèmes d'apprentissage adaptatifs, alimentés par l'IA, peuvent améliorer significativement la rétention des connaissances et la motivation des étudiants (Greene Nolan et Vang, 2023; Siemens, 2013).

De même, la chaîne de blocs offre des avantages uniques en matière de sécurité et de transparence des données éducatives. La traçabilité des acquis, combinée à la décentralisation des données, permet de renforcer la confiance dans les systèmes de certification et de favoriser la mobilité scolaire (Inamorato Dos Santos *et al.*, 2017). Toutefois, la capacité de ces technologies à fonctionner de manière synergique dépend de leur intégration effective au sein des infrastructures éducatives existantes.

Personnalisation de l'apprentissage grâce à l'IA et l'analytique de l'apprentissage : Les travaux de Crompton et Burke (2023) et Kabudi *et al.* (2021) montrent que l'IA, par le biais de l'analytique de l'apprentissage, offre des possibilités inédites de personnalisation de l'éducation. Ces technologies permettent d'adapter l'enseignement aux besoins individuels des apprenants, en analysant leurs interactions et performances pour fournir des recommandations et ajustements en temps réel.



Sécurisation et certification des acquis via la chaîne de blocs : La sécurisation et l'authentification des diplômes et des acquis éducatifs sont une avancée majeure (Anne et El Bahlouli, 2023a). La chaîne de blocs offre une méthode infaillible pour l'émission, le stockage et la vérification des qualifications, réduisant ainsi le risque de fraude et facilitant la mobilité scolaire et professionnelle des apprenants.

Innovations pédagogiques et modèles éducatifs : Les applications de l'IA et de la chaîne de blocs encouragent l'adoption de modèles éducatifs novateurs tels que l'apprentissage basé sur les compétences et l'évaluation formative continue. Ces modèles favorisent une approche plus flexible et centrée sur l'apprenant de l'éducation (Bidarra et Mamede, 2019).

Défis et limites

L'intégration de l'intelligence artificielle (IA), de l'analytique de l'apprentissage et de la technologie de la chaîne de blocs dans les pratiques éducatives présente plusieurs défis technologiques et pédagogiques importants. Ces défis nécessitent une attention particulière pour assurer une mise en œuvre efficace et éthique dans le contexte éducatif.

D'une part, l'IA, en raison de sa dépendance à des ensembles de données massifs, pose des problèmes de confidentialité et de sécurité des données. Le risque de biais algorithmique est également une préoccupation majeure, car il peut conduire à des inégalités dans l'accès à l'éducation et aux résultats d'apprentissage (Drachsler et Greller, 2016).

D'autre part, l'intégration de la chaîne de blocs dans l'éducation n'est pas sans difficultés. Le coût d'implémentation, la complexité technique et les questions de compatibilité avec les systèmes existants représentent des obstacles significatifs. En outre, le caractère immuable des données sur la chaîne de blocs pose des questions éthiques, notamment en ce qui concerne le droit à l'oubli (Alammary *et al.*, 2019; Bhaskar *et al.*, 2021).

Malgré leur potentiel, l'adoption de ces technologies dans les pratiques éducatives courantes se heurte à des barrières, notamment le coût de mise en œuvre, le manque de formation chez les enseignants et la résistance au changement institutionnel (Arndt et Guercio, 2020; Bhaskar *et al.*, 2021, Anne et El Bahlouli, 2023a, 2023b).

Enfin, un autre défi majeur est l'impact environnemental de ces technologies émergentes, en particulier celui de la chaîne de blocs et de certains systèmes d'IA. Ces technologies nécessitent une infrastructure informatique puissante entraînant une consommation massive d'électricité et une empreinte carbone importante (Truby, 2018).

DÉFIS TECHNOLOGIQUES

Complexité technique : L'intégration de ces technologies avancées requiert une infrastructure technique robuste et une expertise spécialisée, souvent hors de portée pour de nombreux établissements d'enseignement, notamment dans les régions moins développées (Alammary *et al.*, 2019). La complexité de la mise en œuvre technique peut constituer un obstacle majeur nécessitant des investissements importants en formation et en développement professionnel pour le personnel éducatif.



Sécurité des données : La gestion sécurisée des données éducatives, particulièrement avec l'utilisation de l'IA et de la chaîne de blocs, pose des questions de confidentialité et de sécurité des données. Les risques de fuites ou de mauvais usage des données sensibles des apprenants nécessitent la mise en place de mesures de sécurité rigoureuses et de protocoles de cryptage avancés (Inamorato Dos Santos *et al.*, 2017).

Interopérabilité : La compatibilité entre différentes plateformes et différents systèmes constitue un autre défi, surtout lorsque l'on tente d'intégrer des solutions basées sur l'IA et la chaîne de blocs dans les systèmes éducatifs existants. L'interopérabilité est cruciale pour le partage et l'analyse des données avec différents outils et plateformes, sans entraver la fluidité de l'expérience d'apprentissage (Arndt et Guercio, 2020).

DÉFIS PÉDAGOGIQUES

Résistance au changement : La résistance au changement de la part des enseignants et des administrateurs peut entraver l'adoption de nouvelles technologies. La crainte de la surcharge de travail, du remplacement potentiel par des technologies ou de la perte d'interactions humaines précieuses est réelle (Bhaskar *et al.*, 2021).

Formation et développement professionnel : La formation adéquate du personnel enseignant à l'utilisation et à l'exploitation de l'IA, de l'analytique de l'apprentissage et de la chaîne de blocs est essentielle. Développer des compétences dans ces domaines nécessite un engagement continu et des ressources de formation spécifiques (Bidarra et Mamede, 2019).

Personnalisation ou standardisation : Trouver l'équilibre entre la personnalisation de l'apprentissage et le maintien de standards éducatifs cohérents est un défi. L'individualisation poussée doit se faire sans compromettre les objectifs d'apprentissage communs ni l'équité dans l'accès à l'éducation de qualité (Inamorato Dos Santos *et al.*, 2017).

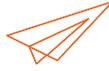
CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES ET DURABILITÉ

L'adoption de l'intelligence artificielle (IA) et de la chaîne de blocs dans l'éducation soulève des défis environnementaux importants. Ces technologies, notamment la chaîne de blocs, reposent sur des processus de calcul énergivores, comme la preuve de travail (Proof of Work), qui sont largement critiqués pour leur inefficacité énergétique (Truby, 2018). Cela pose la question de la durabilité à long terme de ces technologies dans les établissements d'enseignement, soucieux de réduire leur empreinte carbone. Des options, telles que la preuve d'enjeu (Proof of Stake) ou l'utilisation de centres de données écologiques, proposent des solutions plus durables, mais leur adoption reste limitée (Bhaskar, Tiwari, et Joshi, 2021). Il est donc crucial que les décideurs politiques et les établissements d'enseignement intègrent ces considérations environnementales dans leurs stratégies de mise en œuvre technologique.

IMPLICATIONS THÉORIQUES ET PRATIQUES

Les résultats de cette étude soulignent la nécessité de développer des cadres théoriques robustes qui intègrent les technologies émergentes de manière à promouvoir une éducation équitable et inclusive. Par exemple, l'intégration de l'IA et de la chaîne de blocs pourrait bénéficier de recherches supplémentaires sur l'interopérabilité des systèmes et la gouvernance des données (Luckin *et al.*, 2016).

Sur le plan pratique, il est crucial que les décideurs politiques, les éducateurs et les développeurs technologiques travaillent ensemble pour élaborer des stratégies d'implémentation qui minimisent les risques identifiés tout en maximisant les avantages. Cela inclut le développement de formations adaptées pour les enseignants et l'investissement dans des infrastructures technologiques solides (Alammary *et al.*, 2019).



RECOMMANDATIONS POUR LES PRATIQUES FUTURES

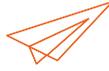
Pour garantir que l'intégration de l'IA et de la chaîne de blocs profite équitablement à tous les apprenants, il est essentiel :

- D'établir des protocoles de sécurité robustes pour protéger les données sensibles des étudiants, en accordant une attention particulière à la confidentialité et à l'intégrité des informations stockées et partagées via des technologies avancées comme la chaîne de blocs (Alammary *et al.*, 2019);
- De développer des algorithmes transparents et explicables afin de minimiser les biais algorithmiques, garantissant ainsi que les décisions éducatives prises par les systèmes d'IA sont équitables et compréhensibles pour tous les utilisateurs (Bhaskar *et al.*, 2021);
- De promouvoir une collaboration intersectorielle entre éducateurs, technologues et décideurs politiques pour assurer une mise en œuvre éthique et équitable de ces technologies, en particulier en ce qui concerne leur déploiement à grande échelle dans les systèmes éducatifs (Arndt et Guercio, 2020).

Pour surmonter les défis associés à l'adoption de ces technologies, la littérature recommande plusieurs stratégies :

- Investir dans des infrastructures technologiques adéquates qui soutiennent le déploiement à grande échelle des technologies de l'IA et de la chaîne de blocs, tout en assurant leur efficacité et leur sécurité.
- Établir des partenariats stratégiques avec des experts en technologie pour bénéficier des dernières avancées et garantir que les solutions mises en place sont à la pointe de l'innovation tout en étant conformes aux normes éthiques et légales.
- Élaborer des politiques de confidentialité et de sécurité des données robustes qui répondent aux exigences légales et éthiques en matière de protection des données des étudiants (Alammary *et al.*, 2019).
- Renforcer la formation continue et le développement professionnel des enseignants en les préparant à intégrer efficacement ces technologies dans leurs pratiques pédagogiques tout en gardant une approche centrée sur l'apprenant.
- Créer des environnements d'apprentissage inclusifs qui favorisent l'interaction humaine et l'engagement pédagogique, en veillant à ce que les technologies ne remplacent pas mais complètent l'expérience éducative humaine (Bhaskar *et al.*, 2021).

Ces principaux résultats indiquent que, malgré les défis à surmonter, l'intégration de l'analytique de l'apprentissage, de l'IA et de la chaîne de blocs dans l'éducation a le potentiel de transformer significativement l'enseignement et l'apprentissage, en favorisant une éducation plus personnalisée, sécurisée et efficace.



La personnalisation de l'éducation par l'IA et l'analytique de l'apprentissage représente une avancée majeure vers des expériences d'apprentissage plus adaptatives et centrées sur l'apprenant. Ces technologies permettent non seulement d'améliorer l'efficacité pédagogique, mais aussi de rendre l'éducation plus inclusive en adaptant l'enseignement aux besoins uniques de chaque apprenant. Comme le soulignent les études de Kabudi *et al.* (2021) et Crompton et Burke (2023), l'avenir de l'éducation réside dans notre capacité à intégrer ces outils de manière éthique et efficace, en veillant à ce que tous les apprenants bénéficient d'un parcours éducatif personnalisé et enrichissant.

Conclusion

La convergence de l'analytique de l'apprentissage, de l'intelligence artificielle (IA) et de la technologie de la chaîne de blocs offre une opportunité transformationnelle pour l'éducation, promettant une personnalisation accrue, une meilleure sécurité des données et une amélioration de l'efficacité pédagogique. Pour réaliser pleinement leur potentiel, il est crucial de surmonter les défis technologiques, éthiques et d'accès. Les décideurs, les éducateurs et les chercheurs doivent collaborer pour développer des solutions inclusives, éthiques et efficaces (Crompton et Burke, 2023; Inamorato Dos Santos *et al.*, 2017).

Cette revue systématique de la littérature a mis en évidence le potentiel transformationnel de l'intégration de l'analytique de l'apprentissage, de l'intelligence artificielle (IA) et de la chaîne de blocs dans le domaine de l'éducation. L'analyse des publications sélectionnées révèle que ces technologies offrent des occasions uniques pour la personnalisation de l'apprentissage, en permettant une approche éducative plus adaptée aux besoins individuels des apprenants. Grâce à l'IA et à l'analytique de l'apprentissage, les éducateurs peuvent désormais accéder à des *insights* précieux sur les performances et les préférences d'apprentissage de chaque étudiant, facilitant ainsi l'adaptation des méthodes pédagogiques et du contenu éducatif (Bhaskar *et al.*, 2021; Dickler, 2021). Par ailleurs, la chaîne de blocs promet d'apporter une dimension supplémentaire de sécurité, de transparence et de portabilité aux acquis d'apprentissage, ouvrant la voie à une reconnaissance globale des compétences et des qualifications (Alammary *et al.*, 2019).

En conclusion, les avancées dans l'analytique de l'apprentissage, l'IA et la chaîne de blocs présentent des avancées intéressantes pour révolutionner le domaine de l'éducation. Cependant, pour exploiter pleinement ces technologies, il est impératif d'aborder les défis associés, notamment en termes de sécurité des données, d'éthique et d'équité d'accès.

Les recherches futures devraient se concentrer sur :

- L'exploration des modèles d'interopérabilité entre les systèmes d'IA et de chaîne de blocs pour maximiser leur efficacité combinée;
- L'évaluation des impacts de ces technologies sur la diversité et l'inclusion dans l'éducation, en tenant compte des disparités d'accès technologique;
- L'analyse des implications environnementales et des coûts sociaux associés à l'adoption de ces technologies à grande échelle.



Liste de références

- Alammary, A., Alhazmi, S., Almasri, M., et Gillani, S. (2019). Blockchain-based applications in education: A systematic review. *Applied Sciences*, 9(12), 2400. <https://doi.org/10.3390/app9122400>
- Anne, A. et El Bahlouli, Y. (2023a). Les technologies des registres distribués et de la chaîne de blocs en éducation. *The Conversation*. <https://tinyurl.com/mu6r765r>
- Anne, A. et El Bahlouli, Y. (2023b). La Technologie des registres distribués (TRD) : usages et perspectives dans le secteur de l'éducation. *Médiations et médiatisations*, (14). <https://doi.org/10.52358/mm.vi14.307>
- Arndt, T., et Guercio, A. (2020). Blockchain-based transcripts for mobile higher-education. *International Journal of Information and Education Technology*, 10(2). <https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.2.1344>
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart and Winston.
- Baker, R. S., et Siemens, G. (2014). Educational data mining and learning analytics. Dans R. Keith Sawyer (dir.), *Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (p. 253-272). Cambridge University Press.
- Bandura, A. (1977). *Social Learning Theory*. Prentice Hall.
- Bhaskar, P., Tiwari, C. K., et Joshi, A. (2021). Blockchain in education management: present and future applications. *Interactive Technology and Smart Education*, 18(1), 1-17. <https://doi.org/10.1108/ITSE-07-2020-0102>
- Bidarra, J., et Mamede, H. (2019). Artificial Intelligence et Blockchain in Online Education. Dans G. Ubachs (dir.), *The Envisioning Report for Empowering Universities* (3rd ed., p. 27-29). EADTU. <https://tinyurl.com/bde6zduj>
- Bruner, J. S. (1960). *The Process of Education*. Harvard University Press.
- Bryson, J. J. (2019). The Past Decade and Future of AI's Impact on Society. *Towards a New Enlightenment? A Transcendent Decade*. BBVA. <https://www.joannabryson.org/publications/the-past-decade-and-future-of-ais-impact-on-society>
- Creswell, J. W., et Creswell, J. D. (2017). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4^e éd.). Sage Publications.
- Crompton, H., et Burke, D. (2023). Artificial intelligence in Higher Education: the state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00392-8>
- Devedžić, V. (2004). Web Intelligence and Artificial Intelligence in Education. *Journal of Educational Technology & Society*, 7(4), 29-39. <https://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.7.4.29>
- Dickler, R. (2021). *Learning with and from Artificial Intelligence-Driven Analytics*. Society for Learning Analytics Research (SoLAR). <https://www.solaresearch.org/2021/11/learning-with-and-from-artificial-intelligence-driven-analytics/>
- Dillenbourg, P. (2000). Collaborative learning: Cognitive and Computational Approaches. *Advances in Learning and Instruction Series. Computers & Education*. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(00\)00011-7](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(00)00011-7)
- Drachler, H., et Greller, W. (2016). Privacy and analytics: It's a DELICATE issue a checklist for trusted learning analytics. *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge*, 89-98. <https://doi.org/10.1145/2883851.2883893>
- Engeström, Y. (1987). *Learning by Expanding: An Activity-Theoretical Approach to Developmental Research*. Orienta-Konsultit. <https://lchc.ucsd.edu/mca/Paper/Engestrom/Learning-by-Expanding.pdf>
- Gašević, D., Dawson, S., et Siemens, G. (2014). Let's not forget: Learning analytics are about learning. *TechTrends*, 59(1), 64-71. <https://doi.org/10.1007/s11528-014-0822-x>
- Greene Nolan, H., et Vang, M. C. (2023). *Automated Essay Scoring in Middle School Writing: Understanding Key Predictors of Students' Growth and Comparing Artificial Intelligence- and Teacher-Generated Scores and Feedback* [Report]. Digital Promise. <https://eric.ed.gov/?id=ED629956>
- Guan, X., Yan, H., Wang, Z., Gao, P., et Ding, B. (2023). Research on Teaching Reform of Artificial Intelligence Course Based on CDIO. *SHS Web of Conferences*, 152, Article 03005. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202315203005>
- Holmes, W., Bialik, M., et Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign.
- HolonIQ. (2023). *Artificial Intelligence in Education. 2023 Survey Insights*. <https://www.holoniq.com/notes/artificial-intelligence-in-education-2023-survey-insights>



- Inamorato Dos Santos, A. (dir.), Grech, A., et Camilleri, A. F. (2017). *Blockchain in Education*. Joint Research Centre. Science for Policy Report. European Commission. <https://doi.org/10.2760/60649>
- Jacob, S., Souissi, S. et Duplantis, L. (2023). *Intelligence artificielle et transformation de l'évaluation de programme*. Chaire de recherche sur l'administration publique à l'ère numérique, Université Laval. <https://tinyurl.com/22c6sboxr>
- Kabudi, T., Pappas, I. O., et Olsen, D. H. (2021). AI-enabled Adaptive Learning Systems: A systematic mapping of the literature. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 2, article 100017. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100017>
- Kelly, G. (1955). *The Psychology of Personal Constructs*. W.W. Norton & Company.
- Lai, C.-L. (2021). Exploring University Students' Preferences for AI-Assisted Learning Environment: A Drawing Analysis with Activity Theory Framework. *Educational Technology & Society*, 24(4), 1-15. <https://www.jstor.org/stable/48629241>
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., et Forcier, L. B. (2016). *Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education*. Pearson Education. <https://tinyurl.com/5n88z5tu>
- Nagel, D. (2023). Learning Analytics and the Future of Change in the Classroom. *Campus Technology*. <https://tinyurl.com/bdfwuynp>
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books.
- Pedró, F., Subosa, M., Rivas, A. et Valverde, P. (2019). *Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366994>
- Piaget, J. (1952). *The Origins of Intelligence in Children*. International Universities Press, Inc.
- Saastamoinen, K., Rissanen, A., et Mutanen, A. (2023). Intelligent Learning in Studying and Planning Courses—New Opportunities and Challenges for Officers. *International Baltic Symposium on Science and Technology Education*. Scientia Socialis Ltd. <https://eric.ed.gov/?id=ED629134>
- Siemens, G. (2013). Learning analytics: The emergence of a discipline. *American Behavioral Scientist*, 57(10), 1380-1400. <https://doi.org/10.1177/0002764213498851>
- Slade, S., et Prinsloo, P. (2013). Learning analytics: Ethical issues and dilemmas. *American Behavioral Scientist*, 57(10), 1510-1529. <https://doi.org/10.1177/0002764213479366>
- Torraco, R. J. (2016). Writing Integrative Literature Reviews: Using the Past and Present to Explore the Future. *Human Resource Development Review*, 15(4), 404-428. <https://doi.org/10.1177/1534484316671606>
- Truby, J. (2018). Decarbonizing Bitcoin: Law and Policy Choices for Reducing the Energy Consumption of Blockchain Technologies and Digital Currencies. *Energy Research & Social Science*, 44, 399-410. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009>
- University of Southern California (2021). *Organizing your social sciences research paper*. 6. The Methodology. USC Libraries. <https://libguides.usc.edu/writingguide/methodology>
- University System of Georgia (2024). *University System of Georgia Working with Georgia State University's National Institute for Student Success*. <https://tinyurl.com/bdcwp828>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- Whittemore, R., et Knafl, K. (2005). The integrative review: updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>
- Zook, M., Barocas, S., Boyd, D., Crawford, K., Keller, E., Gangadharan, S. P., Goodman, A., Hollander, R., Koenig, B. A., Metcalf, J., Narayanan, A., Nelson, A., et Pasquale, F. (2017). Ten simple rules for responsible big data research. *PLoS Computational Biology*, 13(3). <https://journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1005399>



Abstract / Resumen / Resumo

Emerging technologies in education: Potential and challenges of personalization through AI and Blockchain

ABSTRACT

This article examines how learning analytics, artificial intelligence (AI), and blockchain technology are transforming the personalization of education. By exploring recent literature, it identifies the contributions and challenges of these technologies to enhancing educational pathways. The analysis suggests that the integration of these technologies offers unique opportunities for learning personalization, while raising important questions about security, privacy, and equity. The convergence of AI, learning analytics, and blockchain technology promises a revolution in the way education is delivered and received, allowing for precise adaptation to each learner's profile. However, this technological integration requires deep reflection on ethical and regulatory frameworks to ensure that education personalization benefits everyone, without compromising data security or exacerbating inequalities. The article advocates for close collaboration between technological developers, educators, and policymakers to address these challenges and fully exploit the potential of these emerging technologies in education.

Keywords: learning analytics, artificial intelligence, blockchain, education personalization, ethics in education, equitable access to education, adaptive learning

Tecnologías emergentes en educación: potencial y desafíos de la personalización a través de la IA y la cadena de bloques

RESUMEN

Este artículo examina cómo la analítica del aprendizaje, la inteligencia artificial (IA) y la tecnología de cadena de bloques están transformando la personalización de la educación. A través de la exploración de la literatura reciente, se identifican las contribuciones y desafíos de estas tecnologías en la mejora de los itinerarios educativos. El análisis sugiere que la integración de estas tecnologías ofrece oportunidades únicas para la personalización del aprendizaje, al mismo tiempo que plantea cuestiones importantes sobre seguridad, privacidad y equidad. La convergencia de la IA, la analítica del aprendizaje y la tecnología de cadena de bloques promete una revolución en la forma en que se imparte y recibe la educación, permitiendo una adaptación precisa al perfil de cada aprendiz. Sin embargo, esta integración tecnológica requiere una profunda reflexión sobre los marcos éticos y regulatorios para asegurar que la personalización de la educación beneficie a todos, sin comprometer la seguridad de los datos ni exacerbar las desigualdades. El artículo aboga por una colaboración estrecha entre desarrolladores tecnológicos, educadores y responsables de políticas para abordar estos desafíos y aprovechar plenamente el potencial de estas tecnologías emergentes en la educación.





Palabras clave: analítica del aprendizaje, inteligencia artificial, cadena de bloques, personalización de la educación, ética en la educación, acceso equitativo a la educación, aprendizaje adaptativo

Tecnologias emergentes na educação: potencial e desafios da personalização via IA e Blockchain

RESUMO

Este artigo examina como a análise da aprendizagem, a inteligência artificial (IA) e o blockchain estão transformando a personalização da educação. Ao explorar a literatura recente, ele identifica as contribuições e os desafios dessas tecnologias para melhorar os caminhos educacionais. A análise sugere que a integração dessas tecnologias oferece oportunidades únicas para a personalização da aprendizagem, ao mesmo tempo em que levanta questões importantes sobre segurança, privacidade e justiça. A convergência da IA, da análise de aprendizagem e da tecnologia blockchain promete uma revolução na forma como a educação é oferecida e recebida, permitindo uma adaptação precisa ao perfil de cada aluno. Essa integração tecnológica, no entanto, exige uma consideração cuidadosa das estruturas éticas e regulatórias para garantir que a personalização da educação beneficie a todos, sem comprometer a segurança dos dados ou exacerbar a desigualdade. O artigo defende a colaboração estreita entre desenvolvedores de tecnologia, educadores e formuladores de políticas para enfrentar esses desafios e explorar todo o potencial dessas tecnologias emergentes na educação.

Palavras-chave: análise de aprendizagem, inteligência artificial, blockchain, personalização da educação, ética na educação, acesso equitativo à educação, aprendizagem adaptativa