

La technologie des registres distribués (TRD) : usages et perspectives dans le secteur de l'éducation

Distributed Ledger Technology (DLT): Practices and Perspectives in the Education Sector

Tecnología de contabilidad distribuida (TCD): Usos y perspectivas en el sector educativo

<https://doi.org/10.52358/mm.vi14.307>

Abdoulaye Anne, professeur
Université Laval, Canada
abdoulaye.anne@fse.ulaval.ca

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

RÉSUMÉ

La technologie des registres distribués (TRD), connue aussi sous le nom anglais de « Distributed Ledger Technology (DLT) » ou « blockchain », constitue une innovation stimulante et aujourd'hui très présente dans le monde des affaires et de la finance. Selon CPA Canada (2019), ces technologies sont puissantes au regard de leur potentiel de création de nouveaux modèles économiques. De nombreux pays ont déjà adopté la TRD pour certains aspects liés à la légalisation des documents, à l'identité, à la résidence électronique, à la santé, à la sécurité et à d'autres services administratifs. Avec l'arrivée du numérique dans le monde de l'éducation par le biais de l'apprentissage à distance, les classes intelligentes et les outils de gestion scolaire intelligents, la technologie a pris place dans les écoles et risque d'en définir en grande partie les évolutions futures. L'arrivée des registres distribués s'inscrit dans cette lignée.



Cependant, l'évolution rapide et constante et la complexité de la technologie des registres distribués, la rareté des compétences spécialisées en TRD en Afrique, le coût important de l'infrastructure initiale à mettre en place ainsi que l'absence du cadre réglementaire soulèvent des interrogations et des inquiétudes quant à l'adoption de cette technologie dans un secteur aussi sensible que l'éducation.

Mots-clés : chaine de blocs, éducation, technologie, intelligence artificielle, registres distribués, TRD

ABSTRACT

Distributed ledger technology (DLT), also known as Blockchain, is a stimulating innovation present in business and finance. According to CPA Canada (2019), these technologies are powerful in their potential to create new business models. Many countries have already adopted DLT for aspects of document notarization, identity management, e-residency, health, security, and other administrative services. With the arrival of digital in the education sector, through distance learning, smart classrooms and smart school management tools, technology has taken place in schools and will be present in future developments. The arrival of distributed ledger technology is part of this line. However, the rapid and constant evolution and complexity of distributed ledger technology and the scarcity of specialized DRT skills in Africa as well as the high cost of the initial infrastructure to be put in place and the lack of a regulatory framework, raise many concerns about the adoption of this technology in a sensitive sector such as education.

Keywords: blockchain, education, technology, artificial intelligence, distributed Ledgers, DLT

RESUMEN

La tecnología de contabilidad distribuida (TCD), también conocida en inglés como "Distributed Ledger Technology" o "blockchain", es una innovación estimulante muy presente hoy en día en el mundo de los negocios y las finanzas. Según CPA Canada (2019), estas tecnologías gozan de un fuerte potencial para crear nuevos modelos económicos. Muchos países ya han adoptado la TCD para aspectos de certificación de documentos, gestión de identidad, residencia electrónica, salud, seguridad y otros servicios administrativos. Con la llegada de las tecnologías digitales al sector de la educación, mediante la educación a distancia, las aulas inteligentes y las herramientas de gestión escolar inteligente, la tecnología ha tomado un lugar en las escuelas y estará presente en sus desarrollos futuros. La llegada de la tecnología de contabilidad distribuida forma parte de esta línea. Sin embargo, la adopción de esta tecnología en un sector sensible como es la Educación plantea numerosas dudas, debido a su evolución rápida y constante, a su complejidad, a la escasez de competencias especializadas en TCD en África, así como al alto coste de la infraestructura inicial que se implementará y la ausencia de un marco regulatorio.

Palabras clave: *blockchain*, educación, tecnología, inteligencia artificial, tecnología de contabilidad distribuida, TCD



Introduction

La technologie de registres distribués est un développement technologique récent qui permet un stockage de données sécurisé, décentralisé et distribué cryptographiquement. Cette innovation technologique a été réalisée dans le cadre de la cryptomonnaie connue sous le nom de Bitcoin, où elle est utilisée pour stocker ouvertement les transactions monétaires entre ses utilisateurs (Pal *et al.*, 2021). La première apparition de la TRD date de 2008 avec la monnaie numérique Bitcoin, développée par Satoshi Nakamoto.

La technologie des registres distribués (TRD) est une nouvelle technologie qui crée un grand livre numérique distribué et partagé, qui permet à plusieurs utilisateurs de s'engager dans des échanges d'informations sécurisées et fiables les unes avec les autres et sans intermédiaires (McQuinn et Castro, 2019). Les données stockées ont la spécificité d'être cryptées, permanentes et sécurisées. Chaque action de modification (ou de suppression) qui y est faite est enregistrée et conservée assurant la traçabilité (Tapscott et Tapscott, 2016).

La TRD comme une base de données distribuée est répartie sur de nombreux ordinateurs sans contrôle central (De Bem Machado *et al.*, 2019, p. 161). C'est une structure de données constituée de blocs se composant de deux parties, l'en-tête et le corps. Ceux-ci sont connectés sous forme de listes qui réalisent des transactions successives et stockent des données en utilisant le cryptage (Pal *et al.*, 2021, p. 1). Son utilisation rend toutes les transactions enregistrées avec une heure et une date (De Bem Machado *et al.*, 2019, p. 161).

1. Problématique

Des expériences dans divers pays à travers le monde présentent quelques exemples d'utilisation de la TRD dans le secteur de l'éducation. Parmi les usages pratiques documentés, il y a le stockage et l'utilisation des informations d'identification des étudiants, la certification des diplômes, la lutte contre le plagiat et l'accessibilité d'un matériel pédagogique sécurisé et immuable, la mise en place des écosystèmes pour permettre aux apprenants d'avoir accès au matériel d'étude et de partager leurs projets et idées (Alammary *et al.*, 2019) et les contrats intelligents utilisés par les enseignants pour conclure des accords numériques avec les étudiants concernant l'achèvement de leurs tâches (Hyrnsalmi *et al.*, 2020).

Les écoles et universités peuvent en effet utiliser la TRD pour aider les enseignants à identifier rapidement les besoins éducatifs spécifiques de leurs élèves et faciliter le passage de la méthode traditionnelle à une forme d'apprentissage plus personnalisée (Tapscott et Kaplan, 2019). Elles peuvent insérer d'une manière continue plus de données sur les réalisations des étudiants dans leur dossier scolaire tout au long de leur parcours (De Bem Machado *et al.*, 2019), assurer le stockage sécurisé des informations d'identification et les relevés de notes qui pourront ensuite être consultés par toute entité à qui l'étudiant souhaite accorder l'accès (Arndt et Guercio, 2020), garantir l'anonymat, la confidentialité et l'obtention d'une preuve décentralisée qui ne peut être effacée ou modifiée par personne (Bidarra et Mamede, 2019) et l'authenticité des certificats scolaires (Choi *et al.*, 2019).

Cependant, des interrogations sur les critères de l'adoption de la TRD et surtout sur son efficacité et sa pertinence à terme pour les différents utilisateurs – étudiants, enseignants, administrateurs et décideurs – restent sans réponses vu la présence très récente de la TRD dans le secteur de l'éducation et la rareté des retours sur expérience sur des durées acceptables.



De fait, le présent travail s'inscrit dans la problématique de l'intégration des technologies du numérique, en particulier celles avancées, en éducation. Il se fait à un moment où les connaissances probantes sur le sujet restent à construire. Cette situation semble encore moins claire en Afrique. Or, la technologie commence à y gagner en importance et promet plusieurs avantages. Cependant, malgré l'enthousiasme suscité, que savons-nous vraiment sur ses avantages et ses inconvénients dans le secteur de l'éducation et, surtout, est-ce une bonne technologie pour l'Afrique?

Afin de répondre à cette question, nous avons mené une recension d'écrits portant sur l'usage de la technologie des registres distribués dans le secteur de l'éducation et les différentes perspectives qui pourront se présenter dans le monde et en Afrique spécialement. Notre objectif est d'améliorer la connaissance du phénomène étudié par rapport aux critères déterminant l'utilisation de la TRD dans le secteur de l'éducation en Afrique, les défis et barrières entravant cette adoption ainsi que de discuter les implications de son utilisation pour les étudiants, les enseignants et les décideurs et aussi sur l'administration scolaire plus largement.

2. Méthode de recension

L'utilisation de la technologie des registres distribués en éducation est encore à ses premiers pas avec peu des recherches disponibles sur le sujet (Alammary *et al.*, 2019). Nous avons remarqué toutefois que le rythme de publications relatives à ce sujet s'accélère dans les dernières années, et spécialement durant la pandémie de COVID-19, et le nombre d'articles traitant de l'usage de la technologie des registres distribués en éducation est en train d'augmenter (Raimundo et Rosário, 2021; Reis-Marques *et al.*, 2021).

Afin de mener notre revue de littérature, nous avons adopté la méthodologie de recherche suivante pour la recension des écrits sur notre sujet, nous avons :

- commencé par le repérage de divers livres d'introduction, des *handbooks*, des numéros thématiques de revues scientifiques;
- procédé à l'élaboration d'un lexique personnel à partir des définitions de différents auteurs et nous avons défini une carte conceptuelle se composant des trois concepts suivants : technologies des registres distribués, éducation, Afrique;
- effectué une lecture complète et un repérage du vocabulaire et des mots-clés propres au sujet dans les textes retenus.

Pour ce qui est du repérage, nous avons adopté une approche se basant sur le *Scoping Review* (revue de la portée) qui est un type de recherche exploratoire qui identifie les concepts clés, les théories et les sources de preuves. Les principaux objectifs de la revue de la portée sont d'identifier les lacunes dans la recherche actuelle et de mettre en évidence les domaines qui nécessitent une enquête plus approfondie. Elle vise à évaluer la taille et la portée potentielles de la littérature de recherche et le niveau actuel de synthèses disponibles (Romund, 2017). Les examens de la portée sont parfois utilisés comme recherche préliminaire pour justifier une enquête plus approfondie, du temps et des ressources; cependant, il peut également s'agir de projets autonomes, en particulier lorsque le sujet de recherche est complexe ou n'a pas été examiné de manière exhaustive dans le passé.



Nous avons effectué des recherches sur le site de la bibliothèque de l'Université Laval ainsi que sur Google Scholars via des requêtes en français et en anglais, par exemple : « Blockchain application in education », « TLD application in education in Africa », « Chaîne de blocs et Éducation » et « Technologie des registres distribués et Éducation ».

À travers cette approche, nous avons pu générer plus de 32 000 ouvrages, articles ou communications traitant partiellement ou intégralement de l'application et de l'usage de la technologie des registres distribués et de la chaîne de blocs dans le secteur de l'éducation dans le monde et en Afrique.

Afin de produire un rendu de revue de littérature qui serait le plus précis possible et à jour avec des données et de retours sur des expériences récentes, vu l'évolution rapide et disruptive du domaine de la technologie en général et dans le secteur de l'éducation spécialement, nous avons retenu uniquement les articles publiés dans des revues arbitrées et reconnues qui traitent du sujet de l'usage de la technologie des registres distribués en éducation, et qui sont parues après l'année 2015, et surtout celles qui traitent partiellement ou intégralement de son application en Afrique.

Finalement, après la relecture et le classement des ressources collectées, nous avons pu avoir une cinquantaine de textes retenus pour le présent article.

3. Résultats de la recension

Cette partie présente les résultats de la recension réalisée et s'organise en trois sous-sections :

- Technologie des registres distribués (TRD);
- Usages de la technologie des registres distribués en éducation;
- Technologie des registres distribués en éducation en Afrique.

Ces trois regroupements vont nous permettre de répondre aux interrogations soulevées dans la problématique présentée dans la première partie.

3.1 La technologie des registres distribués (TRD)

Pour mieux comprendre l'impact que la technologie des registres distribués pourrait avoir sur nous et sur le système éducatif, nous devons examiner et comprendre son fonctionnement.

La technologie des registres distribués est une base de données distribuée, répartie sur de nombreux ordinateurs sans contrôle central qui pourrait transformer les modes de gouvernances actuels dans tous les secteurs. Avec l'utilisation de la technologie des registres distribués toute transaction de données réalisée est enregistrée avec une heure et une date ce qui la rend sécurisée et transparente (De Bem Machado *et al.*, 2019, p. 161).

Alors que la majorité des travaux de recherche et développement récents sur la technologie des registres distribués ont porté sur un certain nombre d'applications de différentes cryptomonnaies, la technologie elle-même a été proposée et utilisée dans divers domaines allant des contrats ouverts au vote électronique (Hyrynsalmi *et al.*, 2020).



La structure de données de la chaîne de blocs est constituée de blocs qui se composent de deux parties, appelées l'en-tête et le corps, connectées sous forme de liste qui réalisent des transactions successives et stockent des données en utilisant le cryptage selon procédure suivante :

Blocks are connected in form of list whereas current block stores some values in its header like hash of previous block, blockchain address of the previous block etc. [...] The header comprises block number, hash value of previous block to maintain the integrity of the Chain, hash of body of current block to maintain the integrity of the transaction data, time stamp, nonce, blockchain address of block creator and other desired information. Body of the block contains one or more transactions (Pal et al., 2021, p. 1).

Selon Tapscott et Tapscott (2016), la technologie de registres distribués est comme un livre de compte public qui enregistre et vérifie automatiquement les transactions. Il n'appartient à aucune personne ou autorité centrale. Au contraire, c'est un système composé de nombreux ordinateurs personnels qui stockent des informations, ne laissant ainsi aucune place à un intermédiaire. Il est distribué et décentralisé afin qu'il ne puisse être supprimé ou corrompu par une seule personne par animosité ou vol, ce qui le rend très sécurisé.

Les technologies des registres distribués sont de nouvelles technologies puissantes qui créent un grand livre numérique distribué et partagé, qui permet à plusieurs parties prenantes de s'engager dans des transactions sécurisées et fiables les unes avec les autres et sans intermédiaires (McQuinn et Castro, 2019).

Cette technologie se présente sous la forme d'un ensemble de bases de données interreliées qui enregistrent les détails de transactions effectuées par les participants dans un système donné comme dans le domaine de la cryptomonnaie (figure 2). Les bases de données ne sont alors pas gérées de manière centralisée par une seule entité, mais plutôt collectivement par un certain nombre d'utilisateurs répartis géographiquement d'une manière non conventionnelle. (Pal et al., 2021)

Ces données ont la spécificité d'être cryptées, permanentes et sécurisées. Chaque action de modification (ou de suppression) qui y est faite est enregistrée et conservée, assurant ainsi une sorte de traçabilité (ou de suivi) (Tapscott et Tapscott, 2016).

Une autre illustration technique de l'usage des registres distribués que nous avons choisi de reporter ici est relative au Bitcoin, qui a été la première application de la technologie des registres distribués. Le Bitcoin est une chaîne de blocs publique, appelée aussi chaîne de blocs sans permission (Mitchell et al., 2019).

Les gouvernements cherchent de plus en plus à utiliser la technologie pour améliorer les processus et l'efficacité dans le service public. Selon une enquête de IBM (2017), 90 % des gouvernements déclarent qu'ils prévoient d'investir dans la TRD pour aider à gérer leurs transactions, leurs actifs et leurs contrats ainsi que la conformité de leurs règlements. La même enquête montre l'intérêt des gouvernements pour la technologie afin d'accroître la transparence, la cybersécurité et l'efficacité (IBM, 2017).

De nombreux pays ont déjà adopté la TRD pour certains services comme la gestion des cartes nationales d'identité, la certification des documents, la délivrance de la résidence électronique, la gestion des données de santé de la population ainsi que la sécurité. Par exemple, l'Estonie, la Suède et la Géorgie utilisent un service basé sur la chaîne de blocs pour l'identification des citoyens et des entreprises dans leurs relations et transactions avec le gouvernement.



L'Émirat de Dubaï a décidé d'intégrer progressivement la technologie des registres distribués dans l'ensemble de ses processus gouvernementaux. Aussi, le Kazakhstan utilise une plateforme d'appels d'offres publics basée sur la TRD afin d'assurer un haut niveau de transparence (Ojo et Millard, 2017).

3.2 Usages de la technologie des registres distribués en éducation

La technologie des registres distribués est susceptible de nous fournir un excellent cadre pour suivre les dossiers des étudiants. En effet, selon Choi *et al.* (2019), elle peut assurer la gestion des informations quotidiennes comme les devoirs, l'assiduité et les activités parascolaires, ainsi que des informations à plus long terme comme les diplômes et les écoles fréquentées. La gestion optimisée de ces grandes bases de données permet une prise de décisions facilitée par le biais de l'automatisation.

La technologie des registres distribués donne la possibilité de garantir que chaque enseignant ou élève reçoive un identifiant unique (Qandoussi et Houssaini, 2022), qui est stocké dans un registre décentralisé, rendant ainsi leurs données immuables et à l'abri de tout dommage ou vol. De plus, les élèves peuvent télécharger leurs devoirs et projets à l'aide de la technologie des registres distribués, ce qui peut aider à diminuer le plagiat (Palmisano *et al.*, 2022).

En plus, pour ce qui est du maintien de la réputation et la confiance dans la certification et les preuves académiques, un rôle important pourrait être joué par la technologie des registres distribués dans la lutte contre la fraude. En effet, avec l'éducation qui devient plus diversifiée et décentralisée, la TRD aidera à maintenir la réputation, la confiance dans les certificats et diplômes en aidant à arrêter la fausse certification avec un processus de cryptage et d'authentification à deux facteurs (De Bem Machado *et al.*, 2019, p. 161). La technologie des registres distribués favorise la coopération entre les universités et le partage des référentiels de certification et les informations des étudiants.

Dans leur article publié en 2019, Bidarra et Mamede affirment, au regard de son pouvoir de changement, que la technologie des registres distribués est une technologie de rupture qui, après quelques années de mise en œuvre intensive en tant que base de cryptomonnaie, s'avère désormais être une ressource ouverte aux multiples possibilités dans différents domaines. Selon eux, l'intérêt majeur de cette technologie réside dans sa capacité à passer d'un système d'enregistrement de données centralisé à un système distribué qui assure l'inaltérabilité des informations et préserve la confidentialité des données (Bidarra et Mamede, 2019, p. 29).

Pour mieux illustrer le concept, Arndt et Guercio (2020) précisent les applications de la technologie des registres distribués dans le secteur de l'éducation et plus précisément pour la certification des relevés de notes ou des diplômes. Ils expliquent comment elle permet à quelqu'un d'authentifier un certificat, un relevé de notes ou un diplôme et comment elle garantit non seulement que les informations d'identification peuvent être vérifiées, mais également qu'il n'y a aucun moyen de créer des certificats non authentiques (Arndt et Guercio, 2020).

L'avantage du stockage décentralisé ajoute à la technologie des registres distribués un aspect important en matière de sécurité et rend impossible toute possibilité de modification des données stockées. En effet, les données sont stockées de manière décentralisée sur le réseau et une copie de chaque transaction ainsi que le hachage des données de transaction sont stockés sous forme de grand livre avec chaque membre du réseau. Dans le stockage décentralisé, pour tout intrus, il est difficile de modifier les données stockées dans la plupart des endroits. Par conséquent, le stockage décentralisé offre une sécurité cryptographique supérieure par rapport au stockage centralisé (Pal *et al.*, 2021, p. 1).



Xu (2016) note toutefois que même si la technologie des registres distribués offre la confidentialité et de la sécurité reconnue, les attaques malveillantes et les fuites de données pourront constituer une barrière menaçante à l'adoption de cette technologie. En effet, la TRD peut devenir vulnérable et être prise d'assaut des pirates, comme est le cas de « l'attaque de 51 % » qui peut être effective si ses initiateurs ont une puissance de *mining* ou de puissance de calcul du réseau qui est supérieure à 50 %. Donc, 51 % au moins :

Lorsqu'ils disposent d'une majorité de la puissance de calcul du réseau, ils pourront annuler les transactions effectuées par les autres utilisateurs. Ils peuvent également décider des transactions qui seront validées et de celles qui ne le seront pas. Généralement, l'attaque des 51 % est dirigée contre les chaînes de blocs de type Proof of Work (PoW). Pourquoi? Parce que dans ce type de gouvernance décentralisée, ce sont les transactions approuvées par la majorité qui sont enregistrées dans le registre de transactions (Lajeune, 2022).

Ces craintes rendraient les établissements d'enseignement réticents à faire confiance à cette technologie et par conséquent à refuser de partager leurs données sur un réseau de registres distribués ou bien ne pas pouvoir décider du type de données et de services à offrir à ce niveau (Xu, 2016).

En outre, la plupart des administrations scolaires et gouvernementales responsables de l'éducation ont déjà un ensemble de procédures standards pour gérer les activités éducatives et les décisions y afférentes au quotidien, alors que la technologie des registres distribués nécessiterait une modification importante de ces procédures déjà implémentées par ces institutions (Xu, 2016).

Pour ce qui est de l'immutabilité des données générées par l'usage de la technologie des registres distribués, elle rend difficile pour les établissements d'enseignement de corriger ou de modifier les données inexactes (Bhaskar *et al.*, 2021, p. 10). Les mêmes auteurs ajoutent que la faible maturité de cette technologie constitue un autre défi que risque de rencontrer l'usage de la TRD dans le domaine de l'éducation (Bhaskar *et al.*, 2021).

En somme, on peut résumer les contraintes et les barrières à l'adoption de la technologie des registres distribués comme suit :

- La réticence à une nouvelle technologie que les gens ont du mal à comprendre (De Bem Machado *et al.*, 2019);
- La crainte d'attaques malveillantes et de fuites de données (Xu, 2016);
- Les règles strictes de protection de la vie privée et des informations contenues dans les dossiers scolaires ainsi que la permanence des données qui pourraient paradoxalement rendre difficile pour un étudiant en difficulté d'avoir une seconde chance ou de prendre un nouveau départ (Tapscott et Kaplan, 2019);
- Le coût de l'infrastructure de gestion des données de grande taille et la sécurité de données, l'adoption des registres distribués s'avérant être une entreprise coûteuse (Bhaskar *et al.*, 2021).



3.3 La technologie des registres distribués en éducation en Afrique

Le nombre d'articles scientifiques et académiques proprement dit traitant du sujet de l'usage de la technologie des registres distribués, ou de la chaîne de blocs en Afrique en général et dans l'éducation spécialement, est très bas. La production scientifique dans ce domaine est encore à sa phase préacadémique et vient principalement des rapports des bureaux d'études et de conseil, du secteur privé, des observatoires, des déclarations, webinaires ou entretiens d'experts africains reconnus et de la presse spécialisée dans le continent ou mondiale.

Comme dans la majorité des pays du monde, les pays africains souffrent d'un bon nombre de défis, comme le déficit en termes de ressources humaines, de traçabilité et de suivi, défis relatifs à la transparence, à la responsabilité, à la sécurité, à la confiance et à la corruption. Selon Burke (2022), l'usage de la technologie des registres distribués offrira aux pays africains des opportunités de combler des besoins en utilisant cette innovation moderne et rentable.

Tout le monde est d'accord qu'améliorer la qualité de vie des personnes dans le monde signifie investir dans l'éducation. D'ici 2025, on estime que plus de 100 millions d'apprenants seront capables de suivre des études supérieures, mais n'y auront pas accès soit parce qu'ils ne peuvent pas en payer les frais, soit parce que les cours ne sont pas disponibles dans leur région (McGreal, 2021). Les causes de ces manquements sont d'ailleurs présentées par le même auteur, qui explique notamment que les communautés ou les établissements manquent d'infrastructure technologique, de contenu adapté ou que les étudiants n'ont pas la connectivité Internet; et aussi le fait qu'il n'y a pas non plus assez d'instructeurs qualifiés dans de vastes disciplines (McGreal, 2021).

Giuliani (2018) affirme que le potentiel de la chaîne de blocs dans les pays en développement découle de la disponibilité en continu des appareils connectés et, en raison de sa traçabilité et le fait d'être perçue comme une méthode révolutionnaire capable de contourner les nombreuses défaillances en Afrique. Il confirme que la technologie des registres distribués est adaptée à la composition structurelle des économies africaines en ce qu'elle :

- 1) est omniprésente, organisée et traçable;
- 2) permet de contourner le pouvoir centralisé; et
- 3) transfère la confiance de l'être humain corrompible aux mathématiques transparentes.

Selon Banda (2021), la société de recherche IDC confirme que les dépenses de chaîne de blocs au Moyen-Orient et en Afrique (MEA) ont atteint 307 millions de dollars américains en 2021, ce qui représente un taux de croissance annuel composé de 77,4 % depuis 2016. Le secteur public, y compris l'éducation et la santé, a dépensé environ 120,8 millions de dollars américains, ce qui représente une part de 39,2 %.

Salau (2019) a mis le point sur les problèmes auxquels l'Afrique est confrontée dans le domaine de l'éducation, soit l'équité et l'accès à une éducation de qualité, la dette étudiante ou le renforcement des capacités des enseignants qui pourraient être atténués si nous redéfinissions la façon dont nous concevons nos établissements d'enseignement. La même auteure persiste en affirmant que les systèmes éducatifs en Afrique ont encore un long chemin à parcourir. Des dizaines de millions d'enfants âgés de 5 à 17 ans ne sont pas scolarisés en Afrique. Même pour ceux qui fréquentent l'école, on ne peut garantir qu'ils ont accès à une éducation de qualité. La disparité entre les meilleures et les pires écoles ne cesse de croître.



Ceci laisse penser que l'adoption de la technologie des registres distribués en Afrique pourrait être critique dans les prochaines années. En fait, selon DeepTech (2020), l'Afrique a connu une croissance importante en ce qui concerne la chaîne de blocs, même s'il existe encore des lois et des réglementations peu claires à ce sujet. Cela signifie qu'il reste encore difficile de déterminer l'impact que cela aura sur l'avenir de l'Afrique.

Pendant, le point le plus crucial dans l'usage de la TRD est qu'il est extrêmement important d'éduquer les gens sur l'utilisation de la chaîne de blocs et de leur donner les moyens de comprendre qu'ils ont eux-mêmes le contrôle de son usage comme affirmé par DeepTech (2020).

Francisco (2020) va dans le même sens en confirmant que les lacunes dans le suivi de l'éducation des enfants africains pourront être comblées par l'usage de la technologie des registres distribués. Selon lui, les gouvernements africains peuvent utiliser cette technologie pour obtenir des données sur les étudiants, analyser les techniques d'apprentissage et les méthodologies utilisées, en plus de suivre la progression des étudiants et l'amélioration de leur apprentissage. Il ajoute que le suivi de l'éducation d'un enfant en Afrique doit commencer dès la naissance, où toutes ses données sont obtenues et stockées sur la chaîne de blocs avec un identifiant qui lui est attribué, comme à chacun de ces enfants. Un système est ensuite mis en place où ces informations stockées sont mises à jour au fur et à mesure que l'enfant progresse à l'école, accompagnées d'un rapport d'avancement. (Francisco, 2020)

L'usage de la TRD en éducation présente deux importants avantages pour les pays du tiers monde comme en Afrique : le premier vient de l'accès à des outils, services et produits informatiques et éducatifs de n'importe où dans le monde, peu importe qui vous êtes. Les citoyens des pays sous-développés ont souvent du mal à se permettre et à accéder physiquement aux outils appropriés pour développer leurs compétences et développer leurs connaissances (Buckler, 2022).

Le deuxième avantage de cette adoption de la TRD concerne les diplômes en chaîne. De nombreux pays sous-développés n'ont pas de programmes de certification réputés. Cela amène les universités de premier plan du monde entier à ignorer les diplômes et autres réalisations académiques importantes (Buckler, 2022).

Quant à Salau (2019), elle invite à mettre l'accent sur les principes et l'objectif qui sous-tendent cette technologie plutôt que sur les particularités de la technologie en raison de son potentiel à résoudre les problèmes complexes de l'éducation. Dans ce sens, elle a proposé trois approches pour l'adoption de la technologie des registres distribués dans l'éducation en Afrique :

- 1) Pratique : La TRD pourrait être utilisée pour créer des informations d'identification numériques qui pourraient être tracées et pour vérifier l'identité des utilisateurs;
- 2) Éducative : informer les étudiants et le grand public sur la TRD et développer la recherche dans ce domaine;
- 3) Sociale : L'application des principes de la technologie des registres distribués aux politiques éducatives.



QUELQUES INITIATIVES AFRICAINES INTÉRESSANTES

Plusieurs nouveaux acteurs qui pourront transformer d'une manière disruptive le système scolaire traditionnel voient le jour dans le monde et en Afrique, notamment l'initiative Cardano. L'objectif de Cardano est similaire à celui de nombreuses autres initiatives Web3 et chaîne de blocs visant à rendre l'éducation facilement accessible dans les pays où elle ne l'est pas. L'inclusion financière et l'inclusion scolaire vont de pair dans nombre de ces pays. Une société plus éduquée a souvent un système plus inclusif sur le plan financier. Les pays qui manquent généralement d'éducation manquent souvent d'inclusion financière. C'est 33 % des enfants en Afrique qui ne sont pas scolarisés à l'âge de 14 ans et ce nombre double à 17 ans. Parallèlement au système éducatif africain, seules 20 % des personnes vivant sur l'ensemble du continent ont des comptes bancaires (Buckler, 2022).

À ce jour, l'usage de la TRD en éducation s'est principalement concentré sur la réduction des écarts d'éducation dans les pays sous-développés. Elle garantit des diplômes en chaîne à plus de cinq millions d'étudiants éthiopiens qui seront reconnaissables n'importe où. Mais cet usage est appelé aussi à concerner l'apprentissage en chaîne qui englobe à la fois l'aspect éducatif proprement dit et l'intégration de diplômes et de certifications dans un système authentique accessible de n'importe où (Buckler, 2022).

Parmi les premières initiatives en Afrique de l'usage de la technologie des registres distribués dans l'éducation, on note celle de l'Université de Johannesburg. L'établissement a commencé à délivrer des diplômes et certificats vérifiables sur une chaîne de blocs qui permet à quiconque de vérifier l'authenticité en scannant le code QR du certificat. Les nouveaux certificats basés sur la chaîne de blocs protégeront non seulement contre la fraude, mais préserveront également la réputation de l'établissement et l'intégrité des qualifications (Hugo, 2022).

Tout comme l'Afrique du Sud, le gouvernement kenyan a aussi mis sur pied un groupe de travail sur la chaîne de blocs et l'IA pour explorer le potentiel de ces technologies dans les services publics. Le groupe de travail dirigé par le « père du haut débit au Kenya », Dr Bitange Ndemo, se penche déjà sur plusieurs secteurs, dont la vérification des certificats d'études (Élongué, 2019). Cette « Task Force » kenyane a rendu un rapport avec plusieurs recommandations. L'équipe de travail a notamment appelé le gouvernement à adopter les solutions basées sur la technologie de la chaîne de blocs dans l'éducation pour fournir un moyen simple et vérifiable de délivrer et de vérifier les certificats pour les étudiants qui terminent des programmes de formation (Ministry of Information, Communications and Technology, 2019).

Une autre expérimentation de taille a commencé en 2016 dans le même pays.

Le gouvernement du Kenya et IBM ont fait équipe pour permettre aux écoles d'accorder des certificats académiques à travers la chaîne de blocs. Aujourd'hui, cette technologie aide à créer un réseau régional où les établissements d'enseignement et les employeurs peuvent avoir davantage confiance dans les résultats des évaluations et des titres de compétences des étudiants (Elongué, 2019).

Francisco (2020), toujours au Kenya, relate l'utilisation d'une application basée sur la chaîne de blocs qui fait le suivi de la fréquentation des élèves et informe les parents de l'arrivée et du départ de leur enfant de l'école.



La Tunisie n'est pas en reste. En effet,

la startup Devery.io y collabore avec le ministère de l'Éducation pour implémenter un système de contrôle et suivi des repas scolaires à l'aide de la technologie de la chaîne de blocs. Cela permet de suivre la qualité du programme, conçu pour fournir un repas frais tous les jours aux élèves défavorisés. Et, il est maintenant reconnu que la nutrition et l'éducation vont de pair (Élongué, 2019).

Selon Bajo (2021), en avril 2021, le ministre éthiopien de l'Éducation a annoncé la création d'une base de données nationale qui utilisera la chaîne de blocs pour stocker l'identité des élèves, permettant au ministère de mesurer leurs performances. Ce projet de taille mettra en œuvre un système national d'identification et d'enregistrement des résultats des étudiants et des enseignants basé sur la chaîne de blocs pour vérifier numériquement les notes, surveiller à distance les performances scolaires et stimuler l'éducation et l'emploi à l'échelle nationale (Parkin, 2021). En outre, l'utilisation d'un identifiant unique basée sur la chaîne de blocs permettra aux autorités de créer un registre infalsifiable des performances éducatives de cinq millions d'élèves, 3 500 écoles et 750 000 enseignants afin d'identifier les emplacements et les causes de l'échec scolaire tout en ciblant efficacement les ressources éducatives. L'objectif est de donner à tous les étudiants des qualifications numériques vérifiées par la chaîne de blocs (Parkin, 2021).

Pour ce qui est de l'infrastructure d'accès et de la connectivité, le gouvernement éthiopien fournit également à tous les enseignants et élèves des tablettes et un réseau Internet dédié donnant à tous les étudiants un accès instantané à leurs dossiers scolaires, ouvrant l'enseignement supérieur et l'emploi aux 80 % d'étudiants qui vivent dans les régions rurales (Parkin, 2021).

Une autre initiative citée par Digital Times (2021), de la part de la Banque mondiale, la GIZ et la Digital Skills Accelerator Africa, ouvre la porte à une utilisation innovante de la technologie des registres distribués dans l'éducation en Afrique et spécialement la mise en place d'un système d'accréditation et la création d'un écosystème favorisant les opportunités d'emploi pour la jeunesse africaine.

Aussi, selon la même source, Digital Times (2021), un autre programme fournira des formations en technologie des registres distribués. Il s'agit de l'initiative Africa Centres of Excellence (ACE), qui est un ensemble de projets qui visent à améliorer l'éducation, la formation et la recherche appliquée au niveau postuniversitaire dans des domaines de la science, de la technologie, de l'ingénierie, des mathématiques (STEM) avec un financement conjoint entre la Banque mondiale et la Corée du Sud.

Un autre projet intéressant ayant vu le jour récemment est celui liant l'Open University et la société BlueScreenIT, qui utilise la technologie de la chaîne de blocs pour le compte de OpenSTEM Africa. Le projet développe une analyse de rentabilisation et un modèle de mise en œuvre qui tire parti de la capacité de chaîne de blocs pour créer un avenir intelligent et durable (Mikroyannidis, 2021).

De nombreuses autres initiatives visent à construire un écosystème de chaîne de blocs en Afrique et à produire des ingénieurs spécialisés en chaîne de blocs hautement qualifiés qui utiliseront toutes les facettes de la technologie pour créer des applications très robustes qui feront évoluer la société et le monde dans son ensemble, et créeront une forte demande de l'usage de la chaîne de blocs en Afrique.



4. Discussions

L'éducation est un élément essentiel pour le progrès social et économique de toute communauté et assure sa durabilité future. La valeur de l'éducation est donc cruciale, en particulier en Afrique qui a une grande population de jeunes.

Élongué (2019) revient sur les défis et les barrières rencontrés pour l'adoption de la technologie des registres distribués en Afrique, en confirmant qu'il faut améliorer et accélérer le niveau de sensibilisation par rapport à son usage, même s'il est prometteur. Il affirme aussi que la mécompréhension du fonctionnement de cette technologie a causé de la méfiance chez plusieurs décideurs et politiques africains.

L'un des principaux défis auxquels le système est susceptible de faire face est la capture des détails dès la naissance. Cela est dû à la nature poreuse du système de santé en Afrique avec une infrastructure de santé médiocre pour saisir correctement ces détails. Néanmoins, le système peut aider de nombreux pays africains à éliminer le problème de la transition entre les différentes étapes de l'apprentissage où l'enfant est perdu de vue (Francisco, 2020).

Afin de dépasser ces défis et atténuer leurs conséquences, il est primordial de lancer des opérations de sensibilisation afin de combattre les stéréotypes véhiculés concernant cette technologie et outiller les décideurs d'aujourd'hui et de demain ainsi que les générations montantes pour qu'ils puissent adopter utilement cette technologie : « Pour accroître la sensibilisation sur la chaîne de blocs, ils créent graduellement des clubs dans les universités et lycées africains afin d'enseigner aux jeunes, les tenants et aboutissants de cette technologie » (Élongué, 2019).

Cependant, l'Afrique est confrontée à de nombreux défis dans le secteur de l'éducation qui vont du faible taux d'inscription, de l'insécurité dans les institutions, de la falsification de documents académiques au manque de mécanismes d'exécution d'un apprentissage de qualité.

Sur un autre registre et selon un rapport de 2017 de l'Union internationale des communications, l'Afrique a le taux d'utilisation d'Internet le plus bas, alors que la technologie de la chaîne de blocs a besoin d'Internet pour fonctionner. Cette insuffisance pourrait saper les projections optimistes de l'utilisation de la technologie de la chaîne de blocs sur le continent (Bajo, 2021).

Un autre problème qui persiste au continent africain est celui de la disponibilité de l'électricité. En effet, dans toute l'Afrique, rapporte Bajo (2021), seuls dix pour cent de la population ont accès à l'électricité, et une grande partie de ces dix pour cent sont riches. Cette alimentation électrique inadéquate dans de nombreuses régions d'Afrique limite encore l'accès à Internet dont dépend en grande partie la technologie de la chaîne de blocs.

Sawahel (2018) confirme dans ce sens que les universités africaines sont invitées à suivre les meilleurs établissements d'enseignement supérieur du monde en offrant des formations sur l'exploitation de la technologie des registres distribués et qui pourraient également soutenir l'administration universitaire locale.



Aussi, il est temps de prévoir des investissements en partenariat public-privé afin de mettre en place des infrastructures de registres distribués. Comme le souligne Giuliani (2018) : n'oublions pas l'éducation. Le processus de transition devra inclure des investissements importants dans la lutte contre l'analphabétisme numérique et la fourniture des compétences adéquates.

L'Afrique a besoin d'acteurs privés et publics capables d'associer leurs efforts pour des applications réelles et pratiques de la technologie des registres distribués, en recherchant activement des cas d'utilisation pour développer des solutions pilotes dans tous les secteurs d'activité en Afrique.

En outre, selon le NEPAD (2021), les gouvernements africains sont encouragés à explorer les technologies basées sur la chaîne de blocs pour développer les cadres politiques, infrastructurels, réglementaires et éthiques nécessaires. Ces cadres peuvent offrir des opportunités d'investissement dans la chaîne de blocs et des solutions commerciales pour le continent africain.

Il est judicieux de signaler ici que l'usage de la technologie des registres distribués en éducation rentre parfaitement dans le cadre des objectifs de développement durable 2030 de l'Organisation des Nations unies (ONU) et spécialement l'objectif numéro 4 (UNICEF, s.d.) relatif à l'éducation de qualité et partiellement l'objectif numéro 9 relatif à l'innovation.

Dans le même sens, McGreal (2021) avance que l'UNESCO a déclaré que les ressources éducatives ouvertes sont essentielles pour accroître l'accès des apprenants du monde entier. Ces supports sont essentiels pour soutenir l'objectif de développement durable 4 des Nations unies. La technologie des registres distribués a été reconnue comme une ressource importante pour aider à atteindre les objectifs de développement stratégique. Pour McGreal (2021), il pourrait être possible d'assurer la disponibilité de contenus éducatifs plus abordables, équitables et de qualité. La chaîne de blocs peut soutenir la diffusion de ressources éducatives ouvertes à l'échelle mondiale. Cela est important, car certains auteurs de ressources éducatives libres expriment la crainte de ne pas être attribués ou d'être plagés.

En d'autres mots, l'usage de la technologie des registres distribués visera à promouvoir des possibilités d'apprentissage de qualité dans des conditions équitables et à soutenir les acteurs locaux de l'éducation en Afrique dans leurs accès aux nouvelles technologies ainsi que la promotion de la recherche, l'innovation et le développement du savoir.

Selon le *Africa blockchain Report 2022* édité par l'African blockchain Institute, parmi les recommandations pour l'Afrique dans son analyse, figure l'investissement dans l'éducation : les entreprises de chaîne de blocs devraient investir dans l'éducation et le plaider en matière de chaîne de blocs, tant au niveau local qu'au niveau national à travers l'Afrique (Blockchain Ireland, 2022).

Il est donc important de mettre en place des projets de vulgarisation et de formation en Afrique afin de garantir l'acquisition du savoir-faire nécessaire concernant les différents usages possibles de la technologie des registres distribués en éducation en Afrique par le biais d'une série de formations en ligne et sur place, des démonstrations et des « proof of concept (PoC) ».



Enfin, il y a lieu de mutualiser les investissements et les efforts sur trois principaux axes, à savoir :

- L'infrastructure nécessaire afin de pouvoir offrir la technologie des registres distribués en tant que service;
- La recherche et développement (R&D) en TRD;
- Un centre de connaissances pour le renforcement des capacités en TRD.

5. Conclusion

La technologie des registres distribués n'est pas seulement une nouvelle technologie, mais aussi un modèle de fonctionnement différent, ce qui oblige à réfléchir à la manière de mettre en œuvre la technologie, à son côté opérationnel (Tapscott et Tapscott, 2016). Par exemple, avec les accords numériques, les contrats intelligents et la prise de décision automatisée qu'elle amène, la chaîne de blocs vient ouvrir de nouvelles possibilités, mais elle vient également soulever des appréhensions et des peurs. Les préoccupations quant à la protection de la vie privée (confidentialité des dossiers scolaires) ou à son utilisation possible pour surveiller et contrôler font que la dimension éthique devient un enjeu majeur. La permanence que garantit la technologie appliquée aux dossiers scolaires pourrait rendre plus difficile pour un étudiant en difficulté d'avoir une seconde chance ou de prendre un nouveau départ, incapable de se soustraire à ses échecs du passé.

Quelques travaux laissent entrevoir un potentiel d'utilisation prometteur dans le secteur de l'éducation. Mais ce potentiel est à exploiter avec attention, car le secteur de l'éducation reste un service public et pas un *business* à but lucratif.

Au regard de cette recension, bien que les possibilités de l'usage de la technologie des registres distribués dans l'éducation soient prometteuses, des défis sont identifiés à la suite de plusieurs expériences à travers le monde et spécialement en Afrique, tels que la sécurité des données, la confidentialité, la permanence des enregistrements, le manque de normes et de cadres réglementaires ainsi que le coût important en termes d'investissements en infrastructure et ressources qualifiées qui entravent toujours l'adoption de cette innovation dans le secteur de l'éducation.



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). <https://doi.org/10.3390/app9122400>
- Arndt, T., et Guercio, A. (2020). Blockchain-based transcripts for mobile higher-education. *International Journal of Information and Education Technology*, 10(2), 84-89. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.2.1344>
- Bajo, D. (2021, 27 juin). Integrating Blockchain Technology in Africa: Far-Fetched or Feasible? *Academike*. <https://www.lawctopus.com/academike/blockchain-technology-in-africa/>
- Banda, M. (2021). African enterprises warm up to Blockchain technology. *Intelligent CIO*. <https://www.intelligencio.com/africa/2021/07/22/african-enterprises-warm-up-to-blockchain-technology>
- Bhaskar, P., Tiwari, C.K. and 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 & Blockchain in Online Education. Dans *The Envisioning Report for Empowering Universities*, 3^e édition (p. 27-29). EADTU. <https://tinyurl.com/bde6zduj>
- Blockchain Ireland (2022). *Africa Blockchain Report 2022 – Accelerating Blockchain Innovation across the continent*. <https://tinyurl.com/25h49svm>
- Buckler, N. (2022). Web3 Education: Traditional Learning Disrupted by Metaverse Schools. *BeInCrypto*. <https://beincrypto.com/web3-education-traditional-learning-disrupted-by-metaverse-schools/>
- Burke, C. (2022, 3 février). Strengthening Digital Services with Blockchain Technology in Africa. *Busiweek*. <https://www.busiweek.com/strengthening-digital-services-with-blockchain-technology-in-africa/>
- Choi, M., Kiran, S. R., Oh, S.-C., et Kwon, O.-Y. (2019). Blockchain-based badge award with existence proof. *Applied Sciences Journal*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/app9122473>
- CPA Canada (2019). *Technologie des registres distribués / chaîne de blocs : Perspectives*. CPA Canada et Université de Toronto. <https://tinyurl.com/4hxjn87t>
- De Bem Machado, A., Sousa, M.-J. et Dos Santos Pereira, F. (2019). Applications of Blockchain technology to education Policy. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*. 16, 157-163. <https://www.wseas.com/journals/articles.php?id=1827>
- DeepTech (2020, 5 nov.). Education is the key to Africa's Blockchain future. *Sigma*. <https://sigma.world/news/education-is-the-key-to-africas-blockchain-future/>
- Digital Times (2021). Leveraging Blockchain To Create Learning And Employment Pathways For African Youth. *Digital Times*. <https://tinyurl.com/2p8s7vk7>
- Élongué, C. (2019). Usages de la technologie Blockchain en Afrique. Ces pays africains qui expérimentent déjà la chaîne de blocs dans certains projets éducatifs. *Thot Cursus*. <https://cursus.edu/fr/12534/usages-de-la-technologie-blockchain-en-afrique>
- Francisco, J (2020). How Blockchain Technology Will Transform Africa's Education Sector. *Business Blockchain HQ*. <https://tinyurl.com/y4mtjhb6>
- Giuliani, D. (2018). Blockchain in Africa: Assessing opportunities and feasibility. *Briter Bridges*. <https://briterbridges.com/blockchain-in-africa-assessing-opportunities-and-feasibility>
- Hugo, S. (2022). University of Johannesburg first in South Africa to issue Blockchain-based certifications. *Luno*. <https://discover.luno.com/university-of-johannesburg-first-in-south-africa-to-issue-blockchain-based-certifications/>
- Hyrnsalmi S., Hyrnsalmi S. M., Kimppa K. K. (2020). Blockchain Ethics: A Systematic Literature Review of Blockchain Research. Dans *Well-Being in the Information Society. Fruits of Respect. WIS 2020. Communications in Computer and Information Science*, vol. 1270. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57847-3_10
- IBM (2017). Building trust in government. Exploring the potential of Blockchains. IBM Institute for Business Value. Survey conducted by The Economist Intelligence Unit. <https://www.ibm.com/downloads/cas/WJNPLNGZ>
- Lajeune, G. (2022). Qu'est-ce qu'une attaque des 51 %? *Futura*. <https://www.futura-sciences.com/tech/questions-reponses/cryptomonnaie-quest-ce-quune-attaque-51-16035/>



- McGreal, R. (2021, 19 janvier). How Blockchain could help the world meet the UN's global goals in higher education. *The Conversation*. <https://tinyurl.com/2p9yazyb>
- McQuinn, A. et Castro, D. (2019, avril). A Policymaker's Guide to Blockchain. Information Technology & Innovation Foundation. <https://itif.org/publications/2019/04/30/policymakers-guide-blockchain/>
- Mikroyannidis, A. (2021, 6 oct.). Leveraging Blockchain for OpenSTEM Africa. alexmikro.net. <https://alexmikro.net/leveraging-blockchain-for-openstem-africa/>
- Ministry of Information, Communications and Technology. (2019, juillet). *Emerging Digital Technologies for Kenya. Exploration & analysis*. <https://www.ict.go.ke/blockchain.pdf>
- NEPAD (2021, 17 février). Redefining Africa's Digital Economy Through Blockchain and Cryptocurrency Technologies. Blogue. <https://tinyurl.com/ywccwwnk>
- Ojo, A. et Millard, J. (2017). *Government 3.0 – Next Generation Government Technology Infrastructure and Services: Roadmaps, Enabling Technologies & Challenges*. Springer.
- Pal, O., Alam, B., Thakur, V., et Singh, S. (2021). Key management for Blockchain technology. *ICT Express*, 7(1), 76-80. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2019.08.002>
- Palmisano, T., Convertini, V., Sarcinella, L., Gabriele, L. et Bonifazi, M. (2022). Notarization and Anti-Plagiarism: A New Blockchain Approach. *Applied Sciences*, 12(1), 243. <https://doi.org/10.3390/app12010243>
- Parkin, D. (2021, 27 avril). Ethiopia overhauls its education system with IOHK Blockchain partnership. City A.M. <https://www.cityam.com/ethiopia-overhauls-its-education-system-with-iohk-blockchain-partnership/>
- Qandoussi, M. et Houssaini, A. (2022). Santé, supply chain pharmaceutique et blockchain : un Aperçu. *African Scientific Journal*, 3(13). <https://www.africanscientificjournal.com/index.php/AfricanScientificJournal/article/download/224/228>
- Raimundo, R., et Rosário, A. (2021). Blockchain System in the Higher Education. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/ejihpe11010021>
- Reis-Marques, C., Figueiredo, R., et de Castro Neto, M. (2021). Applications of Blockchain Technology to Higher Education Arena: A Bibliometric Analysis. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/ejihpe11040101>
- Romund, G. (2017). Understanding Review Types: Scoping Reviews. University of Manitoba - Libraries. <https://libguides.lib.umanitoba.ca/reviewtypes/scoping>
- Salau, A. (2019, 13 décembre). Preparing African Educational Systems for Blockchain Technology. *Premium Times*. Opinion. <https://tinyurl.com/5n6py7n7>
- Sawahel, W. (2018, 12 octobre). Universities should address demand for Blockchain skills. University World News. <https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20181010064727399>
- Tapscott, D. et Kaplan, A. (2019, 22 avril). *Blockchain revolution in education and lifelong learning: Preparing for disruption, leading the transformation*. Blockchain Research Institute and IBM Institute for Business Value. <https://www.blockchainresearchinstitute.org/project/blockchain-revolution-in-education-and-lifelong-learning/>
- Tapscott, D. et Tapscott, A. (2016). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World*. Penguin.
- UNICEF (s.d.). Les objectifs de développement durable (ODD). <https://www.unicef.fr/dossier/objectifs-de-developpement-durable-odd>
- Xu, J. (2016). Are blockchains immune to all malicious attacks? *Financial Innovation*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-016-0046-5>