

11

La blockchain et le monde de l'éducation : Un nouvel écosystème de délivrance de titres et diplômes

Natalie Smolenski

Hyland Credentials, États-Unis

La technologie blockchain est en train de révolutionner le monde des services financiers en fournissant des réseaux distribués pour les transactions en monnaies numériques. La même infrastructure numérique peut servir à vérifier d'importantes assertions ou des attestations portant sur les compétences, notamment les dossiers scolaires et universitaires. Dans le domaine de l'éducation du monde entier, on assiste à un important essor de l'utilisation de la technologie blockchain afin de délivrer, partager et vérifier les expériences et les qualifications éducatives. Le présent chapitre donne un aperçu de la technologie blockchain et met en lumière son utilisation dans l'éducation pour produire des justificatifs numériques portables, interopérables et contrôlés par l'utilisateur. Ces titres vérifiables constituent une forme de monnaie sociale qui donne aux étudiants et aux travailleurs la possibilité de transférer leurs compétences et leurs aptitudes partout dans le monde où ils choisissent de vivre, étudier ou travailler.

Introduction

Ce chapitre établit l'intérêt que revêt la technologie blockchain, pour le monde de l'éducation, en tant que nouvelle infrastructure de vérification numérique. Pour faire bref, cette technologie permet à quiconque de valider les données avancées par un individu ou un établissement d'enseignement, que ce soit en matière de compétences ou de qualifications, et ce de manière instantanée et fiable. Elle élimine la fraude aux diplômes, facilite la mobilité géographique et institutionnelle des apprenants et des travailleurs, et émancipe les individus en leur accordant plus de contrôle sur les données qui les concernent.

Ce chapitre est divisé en plusieurs sections : 1) une introduction générale à la technologie blockchain ; 2) une explication des avantages qu'elle présente pour l'éducation ; 3) une étude mondiale sur les mises en œuvre de la blockchain dans l'éducation menées par des entités des secteurs public et privé ; 4) et enfin, une série de recommandations à l'intention des décideurs politiques et des établissements d'enseignement concernant la meilleure façon d'aborder cette nouvelle technologie.

L'objectif de la première section de ce chapitre, « Comprendre la technologie blockchain », est d'aider les lecteurs peu familiers avec la blockchain à comprendre son fonctionnement avant de l'appliquer à des cas particuliers dans le secteur éducatif. Elle donne un aperçu de l'histoire et des principaux concepts de la blockchain, ainsi que de ses principales fonctions. Quelques cas pratiques sont également présentés. En un mot, le principal intérêt de la blockchain est de fournir un mécanisme permettant d'obtenir un consensus entre plusieurs parties qui ne se font pas confiance. Cette section se concentre sur les monnaies numériques, première application concrète de la technologie blockchain, mais elle met également en évidence d'autres utilisations possibles.

Les lecteurs qui disposent d'une bonne compréhension de la technologie blockchain peuvent donc passer directement à la section 2, « Avantages de la blockchain pour l'éducation », qui montre comment on peut s'en servir pour vérifier et transférer de manière fiable des diplômes, des dossiers universitaires et d'autres types de titres et certificats. Certes, la technologie blockchain peut potentiellement être utilisée à d'autres fins dans le domaine de l'éducation, telles que la rationalisation des processus administratifs, mais la vérification de titres et de compétences est de loin l'application la plus au point aujourd'hui et, constitue, par conséquent, le thème central de ce chapitre.

La troisième section, « Déploiement dans le monde réel », fournit au lecteur une étude du marché mondial des solutions de délivrance de titres numériques vérifiables par le biais de la technologie blockchain. Compte tenu des progrès rapides dans le domaine, on peut dire que cette section est à jour au deuxième trimestre de 2021, mais cela est susceptible d'évoluer de manière significative dans les mois et les années à venir. Un des aspects particulièrement encourageants concernant la technologie blockchain réside dans son adoption immédiate à l'échelle mondiale. Ceci est vrai pour l'éducation comme pour d'autres secteurs.

En tant que technologie de réseau véritablement mondiale, la blockchain est donc à l'image du World Wide Web. La quatrième section, « Conduire le changement », recommande donc aux gouvernements, aux fournisseurs de solutions et aux établissements d'enseignement de privilégier la portabilité internationale et l'interopérabilité des plateformes qu'ils utilisent ou développent dans le cadre des solutions de délivrance de titres et de certificats par blockchain. La pandémie de COVID-19 n'a fait que souligner la nécessité d'un transfert de données numériques sécurisé, instantané et vérifiable entre les institutions ainsi qu'entre les individus et les institutions. Comme pour tout projet de numérisation, le passage à un modèle de certification numérique vérifiable nécessite à la fois des investissements budgétaires et une gestion efficace du changement. Toutefois, en choisissant des solutions et des fournisseurs qui s'appuient sur des normes ouvertes, les organisations peuvent pérenniser leurs projets et assurer leur viabilité à long terme.

En définitive, l'utilisation de la blockchain pour valider des titres et diplômes crée un écosystème mondial d'enregistrements interopérables, une nouvelle structure fiable pour soutenir la mobilité mondiale de la main d'œuvre et des services. Elle soutient également un modèle d'éducation fondé sur « l'apprentissage tout au long de la vie », dans lequel les établissements d'enseignement traditionnels constituent des étapes dans un parcours de développement personnel continu, qui se déroule à la fois au sein et en dehors des établissements d'enseignement. Dans l'économie du XXI^e siècle, les natifs du numérique ont intériorisé ce modèle de développement personnel et attendent de leurs titres et diplômes qu'ils soient aussi pratiques, sûrs et portables que les autres formats de données numériques. Les établissements d'enseignement se trouvent donc dans une position passionnante et peut-être sans précédent. Ils sont à l'avant-garde mondiale d'une nouvelle innovation technologique : les dossiers universitaires, sécurisés par des registres numériques transnationaux qui deviennent les premiers cas d'utilisation non monétaire d'une monnaie sociale de confiance de nouvelle génération.

Comprendre la technologie blockchain

Une percée dans le domaine de l'informatique

Ce n'est qu'en 2009 que la monnaie numérique a été largement adoptée. Pourquoi ? Parce qu'avant cela il était trop facile de la « dépenser deux fois » : trop facile pour quelqu'un de prétendre avoir de la monnaie numérique qu'il n'avait pas et de la dépenser plusieurs fois. La possibilité pour quiconque de créer de la monnaie à volonté rend toute forme de monnaie de ce type sans valeur.

Les informaticiens ont passé des décennies à tenter de résoudre ce problème, qui a finalement trouvé une solution pratique avec le protocole Bitcoin pour les transactions monétaires électroniques entre particuliers (Nakamoto, 2008_[11]). Le Bitcoin a été la première « blockchain » : la première chaîne de transactions non modifiables validées

par des nœuds antagonistes dans un réseau. Mais nous reviendrons un peu plus loin sur la nature de la blockchain et du Bitcoin. Avant de pouvoir vraiment comprendre l'importance de la percée de la blockchain, nous devons d'abord comprendre comment elle résout un problème informatique encore plus fondamental : le problème des généraux byzantins (PGB).

Le PGB implique la coordination d'une action entre plusieurs parties, dont certaines ne sont ni fiables ni dignes de confiance. Dans l'exemple classique du PGB, plusieurs généraux byzantins prévoient d'attaquer une ville, mais l'attaque ne sera réussie que s'ils attaquent tous en même temps. Si toutes ces parties ne peuvent pas se coordonner sur une seule action, tout le monde perd, mais si elles se coordonnent toutes sur la même action, tout le monde gagne (Moskov, 2018_[2]). Il s'agit d'une situation binaire : échec complet ou victoire totale. Une victoire totale nécessite quelque chose de très difficile à obtenir dans tout groupe social : le consensus.

Les systèmes informatiques qui produisent de manière fiable un consensus entre plusieurs parties non dignes de confiance ou antagonistes sont des systèmes « byzantins tolérants aux pannes ». Les systèmes de contrôle de vol des avions, les systèmes de contrôle de vol des vaisseaux spatiaux, les systèmes de gestion d'énergie nucléaire et les systèmes de monnaie numérique sont des exemples de systèmes qui nécessitent une tolérance aux pannes (Wikipedia, s.d._[3] ; Binance Academy, s.d._[4]). Ces systèmes utilisent différentes solutions au problème des généraux byzantins, ou différents mécanismes de consensus. Un mécanisme de consensus est un moyen de parvenir à un consensus entre des parties qui ne se font pas confiance. Différents mécanismes de consensus sont apparus pour répondre aux différents besoins et objectifs des divers systèmes tolérants aux pannes.

Par exemple, si vous essayez de suivre une unité de gestion des stocks (UGS) à plusieurs étapes dans une chaîne d'approvisionnement et que vous ne faites pas confiance à tous les maillons de cette chaîne pour vous dire la vérité, vous aurez vraisemblablement besoin d'un système tolérant aux pannes. D'autre part, si vous essayez de suivre des dépenses en monnaie numérique et que chaque membre du réseau est susceptible de prétendre avoir plus d'argent qu'il n'en a réellement, un mécanisme de consensus encore plus robuste est nécessaire. Tous les systèmes tolérants aux pannes ne sont pas des blockchains. Mais le Bitcoin, premier déploiement de la technologie blockchain, est un système à tolérance de pannes qui a émergé pour contrôler la possession et les dépenses de monnaie numérique. En plus de résoudre le BGP, il a également résolu le problème du double dépôt grâce à un mécanisme de consensus connu sous le nom de « preuve de travail. » (Wikipedia, s.d._[5]).

Imaginez la preuve de travail comme un CAPTCHA, mais pour les ordinateurs. Avec CAPTCHA, un site Web vous demande de prouver que vous êtes un être humain en solutionnant une énigme facile à résoudre pour un humain, mais difficile à résoudre pour un ordinateur. Si vous parvenez à solutionner l'énigme, l'ordinateur récepteur vous permettra d'envoyer des données ou de vous abonner à un service. De la même manière, les ordinateurs auxquels d'autres ordinateurs demandent de faire quelque chose - comme envoyer de l'argent d'une entité à une autre - peuvent également exiger que les ordinateurs demandeurs démontrent qu'ils ont résolu une énigme complexe avant que leur demande ne soit acceptée. La vérification par l'ordinateur demandeur de la résolution de l'énigme constitue la « preuve de travail ».

La preuve de travail vise à rendre la communication entre ordinateurs plus coûteuse afin d'éliminer l'utilisation abusive et frauduleuse du réseau. Par exemple, les preuves de travail permettent d'éviter les attaques par déni de service distribué (DDoS) et les spams - où des utilisateurs hostiles grippent les rouages d'un réseau en l'inondant de données malveillantes ou absurdes. À mesure que les ordinateurs deviennent plus rapides et plus intelligents, la preuve de travail devient de plus en plus compliquée, et plus coûteuse en termes de puissance de traitement. C'est néanmoins nécessaire pour que les réseaux tolérants aux pannes restent sûrs, stables et utilisables. Mais la puissance de traitement nécessaire ne cesse d'augmenter et cela entraîne une consommation énergétique croissante. Les systèmes de preuve de travail comme le Bitcoin ont été critiqués pour leur impact sur l'environnement (Temple, 2019_[6]). En réponse à ces critiques, les clusters d'ordinateurs exécutant le protocole Bitcoin utilisent désormais fréquemment des sources d'énergie renouvelables et sont situés dans des climats froids afin d'économiser l'énergie nécessaire à leur refroidissement (Baydakova, 2019_[7] ; Morris, 2018_[8]). Cependant, malgré la consommation d'énergie relativement élevée du protocole Bitcoin, plusieurs études importantes qui ont quantifié la consommation d'énergie dans le passé se sont révélées inexactes (DiChristopher, 2017_[9]). Les affirmations selon lesquelles le réseau Bitcoin utiliserait autant d'électricité que le reste du monde d'ici 2020 ne se sont manifestement pas vérifiées (Cuthbertson, 2017_[10]). Et comme la puissance de traitement des ordinateurs devient plus efficace sur le plan énergétique, le réseau Bitcoin le devient aussi - sans compromettre la sécurité

et la facilité d'utilisation nécessaires pour servir de réserve de valeur à long terme pour la monnaie numérique (American Chemical Society, 2019_[11]). En fait, un récent livre blanc de la société de gestion d'investissements Ark Invest laisse entendre que le minage du Bitcoin pourrait jouer un rôle clé dans le passage aux énergies renouvelables en aidant à gérer l'offre et la demande sur les marchés de l'énergie (Ark Invest, 2021_[12]).

Bitcoin est donc un système tolérant aux pannes qui a été conçu pour maintenir en toute sécurité et même accroître la valeur de sa monnaie numérique en évitant le problème du double paiement/double dépense grâce à la preuve de travail. Mais pourquoi l'appelle-t-on blockchain ?

Blockchains et registres distribués

Comme indiqué ci-dessus, tous les systèmes tolérants aux pannes ne sont pas des blockchains. Même s'il y a un débat sur ce qui différencie exactement une blockchain des autres systèmes à tolérance de pannes, il y a un large consensus sur le fait que le mot « blockchain » fait référence à un type de registre distribué qui enregistre une base de données immuable de transactions. Le mot « blockchain » a été utilisé pour la première fois en relation avec le protocole Bitcoin pour désigner un registre de transactions en monnaie numérique. L'inventeur du Bitcoin, Satoshi Nakamoto, l'a d'abord appelé « chaîne de preuve de travail » ou « chaîne temporelle » parce que les transactions sont ajoutées au registre de manière séquentielle et horodatée, ce qui permet de toujours conserver l'enregistrement dans un ordre chronologique (Messari, 2019_[13]). En outre, ces transactions sont regroupées en « blocs », qui sont déposés sur la chaîne après une période de temps déterminée. (Dans le cas du bitcoin, de nouveaux blocs de transactions sont ajoutés à la chaîne toutes les 10 minutes.) Cette architecture basée sur les blocs est désormais connue sous le terme de « blockchain », qui a été « inventé » par la première communauté Bitcoin.

Qu'en est-il des systèmes tolérants aux pannes qui ne reposent pas sur des blocs de transactions ajoutés à une base de données immuable ? On les appelle parfois « registres distribués ». Ceux-ci peuvent suivre ou non le mouvement de la monnaie dans un réseau et utilisent généralement des mécanismes de consensus différents de la preuve de travail. Ils peuvent même être modifiés par les parties disposant des autorisations nécessaires. Certaines personnes font une distinction entre les registres distribués et les blockchains et les traitent comme des choses différentes, tandis que d'autres considèrent les blockchains comme un type spécifique de registre distribué.

La distinction entre les blockchains et les registres distribués tient du fait que les différents réseaux tolérants aux pannes sont créés à des fins différentes. La principale différence entre les divers réseaux à tolérance de pannes est leur niveau relatif de centralisation ou de décentralisation. En d'autres termes, dans quelle mesure l'infrastructure d'un réseau est-elle soutenue par une ou plusieurs autorités et le consensus déterminé par celles-ci ? Dans certains cas, une architecture de blockchain plus centralisée a du sens, pour d'autres, ce n'est pas le cas. Nous examinons ci-dessous différents déploiements de blockchains plus ou moins décentralisées sous l'angle des parties prenantes qui les utilisent dans un but particulier.

Décentralisation ou centralisation

Il est utile de considérer le Bitcoin comme un exemple emblématique de blockchain décentralisée. Il est décentralisé en raison du principal problème à résoudre pour lequel il a été créé : celui de la croissance infinie de la masse monétaire qui finit par dévaluer la monnaie elle-même. Tout au long de l'histoire, les gouvernements ont été incités à créer de plus en plus de monnaie afin de financer des guerres, de soutenir les marchés ou de rembourser des dettes (Bhatia, 2021_[14]). Au fil du temps, cette politique entraîne une dévaluation de la monnaie, ce qui détruit l'épargne et la richesse des citoyens ordinaires (Alden, 2021_[15]). Le bitcoin évite la dévaluation de la monnaie, car il a été créé pour être numériquement rare, avec une offre fixe de 21 millions de pièces. Aucun individu ou gouvernement ne peut changer cela, car le protocole bitcoin sous-jacent a été conçu de manière rigide. Autrement dit, la monnaie bitcoin a été conçue pour être rare et donc pour prendre de la valeur au fil du temps. (Le protocole Bitcoin s'écrit généralement avec une majuscule, tandis que la crypto-monnaie bitcoin ne prend pas de majuscule. La cryptomonnaie bitcoin est parfois abrégée en BTC).

Encadré 11.1 Public/privé, ouvert/fermé - Où est la différence ?

Les blockchains ont des règles concernant les personnes qui peuvent écrire des transactions sur leur réseau et celles qui peuvent faire fonctionner les nœuds de la chaîne et valider ces transactions. Les lignes directrices suivantes constituent un cadre de référence général pour comprendre les différences entre les différents types de blockchains.

Écriture sur la chaîne :

Publique = tout le monde peut écrire des transactions sur la chaîne et les voir une fois qu'elles ont été écrites.

Privée = seules les parties autorisées peuvent écrire des transactions sur la chaîne et les visualiser une fois qu'elles ont été écrites.

Exécution des nœuds et validation des transactions :

Ouverte = Tout le monde peut exécuter des nœuds et valider des transactions sur la chaîne. (Dans ce contexte, « ouvert » ne signifie pas « sources ouvertes ». De nombreuses blockchains privées sont basées sur un code source ouvert, mais sont privées, car l'utilisation du réseau est contrôlée).

Fermée = seules les parties autorisées peuvent exécuter les nœuds et valider les transactions sur la chaîne.

Les blockchains peuvent avoir l'une des combinaisons suivantes : publique/ouverte, publique/fermée, ou privée/fermée (bien que les chaînes de blocs privées/ouvertes soient possibles en théorie, dans la pratique, toutes les chaînes privées sont également soumises à autorisation).

Ce n'est pas parce qu'une transaction a eu lieu sur une blockchain publique et que tout le monde peut la voir, que tout le monde peut nécessairement en comprendre la signification. En effet, les blockchains publiques enregistrent généralement les transactions de manière anonyme (ou sous un pseudonyme) et hachent le contenu de la transaction afin qu'il ne soit pas lisible par autrui. Il s'agit d'une procédure nécessaire pour préserver la vie privée sur une plateforme publique (la critique qui veut que les blockchains publiques ne préservent pas la vie privée n'est donc pas fondée).

Afin de vérifier les transactions sur les blockchains publiques, un utilisateur humain s'appuie sur des normes techniques qui comportent une série d'étapes techniques de vérification. Celle-ci se fait généralement à l'aide d'une application, comme un navigateur web ou un portefeuille mobile. Les applications qui vérifient les transactions passées peuvent le faire de manière ouverte et gratuite, ou bien avoir recours à un péage informatique ou une autre barrière d'accès.

Par exemple, certaines sociétés qui utilisent des blockchains publiques pour sécuriser les transactions facturent la vérification des titres dans le cadre de leur modèle économique. Dans le cas des blockchains privées ou fermées, la vérification des titres peut également être verrouillée via un système de péage informatique ou un type de service d'authentification.

Certains membres de la communauté Bitcoin s'attendent à une hausse considérable et permanente de la valeur du bitcoin en raison d'un processus connu sous le nom d'« hyperbitcoinisation » - en fait, le contraire de l'hyperinflation (Krawisz, 2014_[16] ; Kenobit, 2018_[17]). Même si Nakamoto ne l'a jamais dit explicitement, la façon dont il a construit la politique monétaire du Bitcoin donne à penser qu'il s'attendait à ce que la valeur d'un bitcoin augmente tellement que la plupart des gens ne posséderaient jamais une unité entière. Pour cette raison, Nakamoto a subdivisé chaque bitcoin en 100 millions de satoshi. Grâce aux satoshi, il n'est pas nécessaire de posséder un seul bitcoin pour effectuer des transactions avec cette monnaie et l'utiliser comme réserve de valeur à long terme.

L'intention de Nakamoto de protéger la valeur du bitcoin des interventions d'une politique monétaire activiste montre clairement que le bitcoin est conçu comme une monnaie « apatride » Cela signifie qu'elle a été conçue pour lui éviter d'être un jour « détournée » par une autorité centralisée. La blockchain du Bitcoin étant ouverte et publique, n'importe qui peut exécuter des nœuds complets ou partiels du protocole et effectuer des transactions sur le réseau en utilisant la preuve de travail. Les transactions sur le réseau sont effectuées avec des pseudonymes et évoluent vers l'anonymat (Nuzzi, 2019_[18]). L'ensemble du réseau est en code source ouvert, ce qui signifie que tout le monde peut y contribuer, et il est géré bénévolement par un groupe de développeurs et de cryptographes. Les personnes qui ne sont pas satisfaites de la façon dont le Bitcoin est géré peuvent également modifier le code pour créer des blockchains concurrentes, et le marché ouvert laisse les utilisateurs décider de la chaîne qu'ils veulent utiliser pour stocker leur valeur et effectuer des transactions financières. Jusqu'à présent, le bitcoin a de loin la plus grande capitalisation boursière de toutes les cryptomonnaies basées sur la blockchain. En avril 2021, la cryptomonnaie valait plus de 1 000 milliards de dollars, soit l'actif financier le plus rapide à atteindre cette étape dans l'histoire récente (Ali, 2021_[19]). La deuxième cryptomonnaie la plus valorisée, l'éther (ETH), représente actuellement environ un tiers du réseau Bitcoin, soit l'équivalent de plus de 300 milliards USD (CoinMarketCap, s.d._[20]). Nous évoquerons ci-dessous Ethereum, le réseau blockchain sur lequel repose l'éther.

Il est compréhensible que ce niveau de décentralisation n'ait pas rendu le bitcoin populaire auprès de certains gouvernements (McWhinney, 2019_[21]). Les banques - en particulier les banques centrales - ont été particulièrement réticentes à l'égard de la cryptomonnaie apatride (Steenis, 2017_[22]), en partie parce qu'elle offre une réserve de valeur et un moyen d'échange alternatifs qui ne sont pas affectés par leurs interventions en matière de politique monétaire. En outre, de nombreuses entreprises et consortiums industriels sont réticents à l'idée d'utiliser des blockchains ouvertes et publiques, préférant des modèles privés ou publics fermés qui leur permettent d'exercer un plus grand contrôle sur qui peut utiliser le réseau et à quel titre. De plus, la décentralisation s'accompagne de compromis techniques : il est souvent plus facile de réaliser des gains d'efficacité à court terme en matière de vitesse du réseau et de traitement des transactions dans des réseaux contrôlés de manière plus centralisée. Cela s'explique par le fait que les réseaux qui ne donnent accès qu'à des utilisateurs dignes de confiance suppriment en partie le besoin d'une tolérance aux pannes : plus on fait confiance aux participants d'un réseau pour se comporter honnêtement, moins on a besoin d'un système tolérant aux pannes robuste, qui a tendance à ralentir le processus décisionnel d'un réseau.

En partie à cause de l'insatisfaction et du malaise suscités par le Bitcoin, mais aussi parce que ce protocole a suscité l'intérêt d'une génération de développeurs motivés par l'appât du gain (sur la base du seigneurage de jetons en frappant leurs propres cryptomonnaies), d'autres cryptomonnaies et architectures de registres distribués sont rapidement apparues. Elles peuvent présenter certains aspects de la décentralisation du réseau Bitcoin, mais avec des caractéristiques davantage centralisées qui supposent une plus grande concentration d'acteurs de confiance. Certaines de ces cryptomonnaies assument ouvertement le fait d'être des systèmes totalement centralisés. Comme indiqué ci-dessus, nombre de ces blockchains centralisées n'ont pas de cryptomonnaie associée et servent plutôt d'infrastructure pour la fourniture de services, que leurs concepteurs peuvent facturer aux utilisateurs. Nous pouvons donc considérer la décentralisation comme un large spectre ; elle peut se manifester à un degré plus ou moins élevé dans différentes parties de l'architecture d'une blockchain.

Il est également important de noter que tout le monde ne considère pas la décentralisation de la même manière : le débat est animé à cet égard. Certaines décisions en matière d'architecture que certains considèrent comme décentralisées peuvent sembler très centralisées à d'autres. L'espace de la blockchain se caractérise, en effet, par des jugements de valeur et des prises de position idéologiques. Pour certains, la décentralisation est simplement et clairement positive, tandis que la centralisation est mauvaise. L'inverse est également vrai ; certains ont taxé les architectures décentralisées d'immorales ou de criminelles. Les discussions à cet égard restent passionnées. Dans cet article, nous ne portons pas de jugement de valeur sur la décentralisation ou la centralisation. Nous soulignons plutôt que les caractéristiques d'un système sont le reflet de sa raison d'être.

Ethereum, deuxième blockchain aujourd'hui en termes de capitalisation boursière (CoinMarketCap, s.d._[20]), est un exemple de blockchain calquée sur l'architecture hautement décentralisée du Bitcoin. À l'image de Bitcoin, Ethereum est une blockchain ouverte et publique. Tout le monde peut effectuer des transactions sur le réseau, exécuter des nœuds et contribuer au code source ouvert du réseau. En 2018, la US Securities and Exchange Commission (commission américaine des affaires boursières) a stipulé que le bitcoin et l'éther ne pouvaient pas

être considérés comme des valeurs mobilières, car aucun tiers n'exerce de « fonctions entrepreneuriales et de gestion » en ce qui concerne leur émission et leur valeur (Sharma, 2018_[23] ; Pisani, 2018_[24]).

Cependant, il existe deux différences majeures entre le Bitcoin et l'Ethereum qui ont contribué à une évolution distincte. La première est que, alors que le Bitcoin a été développé pour être la forme la plus sûre de monnaie numérique, Ethereum a été construit pour être une « machine virtuelle » distribuée - une infrastructure pour exécuter des applications décentralisées. L'éther, la cryptomonnaie associée à Ethereum, est appelée « gaz » parce que sa fonction première (mais pas unique) est d'alimenter des applications sur le réseau plutôt que de servir de réserve de valeur à long terme ou de moyen d'échange universel. En tant que plateforme informatique virtuelle, Ethereum permet l'inclusion de codes exécutables connus sous le nom de « contrats intelligents » dans les transactions de sa blockchain. Les contrats intelligents permettent aux organisations d'automatiser et de coordonner des actions à grande échelle. En utilisant la logique « si -> alors », les contrats intelligents exécutent certaines fonctions (généralement le paiement d'argent) lorsque les conditions définies dans le contrat sont remplies (CoinTelegraph, s.d._[25]). Cette caractéristique d'Ethereum a donné naissance à une catégorie d'applications appelées « applications décentralisées » ou DApps, dont les règlements et les procédures sont intégrés dans des contrats intelligents (Wikipedia, s.d._[26]). Même si les contrats intelligents peuvent également être exécutés sur Bitcoin, la fonctionnalité plus étendue et plus conviviale des contrats intelligents a permis à Ethereum d'être la blockchain la plus populaire en matière de DApps et la plus activement utilisée aujourd'hui (Leising et Kharif, 2020_[27]).

Une autre différence majeure entre Bitcoin et Ethereum est que le fondateur du Bitcoin a choisi de rester anonyme et s'est retiré de toute participation visible à la gestion du réseau deux ans après son lancement (Bernard, 2018_[28]). Bien que de nombreuses personnes aient prétendu être Satoshi Nakamoto dans les années qui ont suivi, aucune n'a pu le prouver de manière convaincante, et aucune n'a pu exercer une influence significative sur le développement technique du réseau. En revanche, le principal inventeur d'Ethereum, Vitalik Buterin, est bien connu et joue un rôle actif dans la gouvernance dudit réseau. Par exemple, Buterin a soutenu la décision de faire passer Ethereum d'un mécanisme de consensus de type « preuve de travail » à un mécanisme de type « preuve de participation » (PoS en anglais), un changement appelé Ethereum 2.0 (Foxley, 2020_[29]).

Le rôle prépondérant de Buterin dans la gouvernance du réseau Ethereum s'est manifesté de manière visible après un incident en 2016, connu sous le nom de « piratage DAO ». Un pirate a exploité une faille dans un contrat intelligent Ethereum géré par une organisation autonome décentralisée (DAO) pour s'approprier 89 millions de dollars d'éther (Kar, 2016_[34]). Buterin a dirigé un groupe qui a piraté le hacker et s'est réapproprié les fonds, mais une lettre anonyme provenant prétendument de l'attaquant a affirmé qu'ils les avaient pris légalement, car il ne faisait qu'effectuer des actions autorisées par le contrat intelligent (et « le code est la loi ») (Siegel, 2016_[35]). Buterin, cependant, a redouté que le fait de se plier à la logique du pirate détruise la confiance des investisseurs dans Ethereum et dans toutes les futures DApps et DAOs construites dessus. Il a donc proposé un « embranchement divergent » du réseau, qui le ramènerait à une période antérieure à l'attaque et rendrait l'argent volé aux investisseurs dans les DAO.

La nature décentralisée du réseau Ethereum signifiait que la majorité des mineurs utilisant le protocole Ethereum devaient encore choisir d'adopter la proposition de Buterin, mais sa stature dans la communauté et le soutien dont il bénéficiait de la part des autres fondateurs d'Ethereum permettaient d'espérer qu'ils accepteraient sa proposition. Dans les faits, la plupart des développeurs d'Ethereum ont choisi d'exécuter le code embranché, faisant du nouvel Ethereum (ETH) la version la plus largement acceptée de la blockchain. Certains développeurs, cependant, ont refusé. Ils ont continué à exécuter la blockchain non embranchée, qui est maintenant connue sous le nom d'Ethereum Classic (ETC). En revanche, aucune des personnes prétendant être Satoshi Nakamoto n'a pu influencer l'évolution technique du bitcoin pendant la « guerre civile du bitcoin » de 2017 (Dinkins, 2017_[36]). Au lieu de cela, la guerre civile a donné lieu à un certain nombre d'embranchements Bitcoin mineurs - Bitcoin Cash (BCH), Bitcoin Gold (BTG), Bitcoin Satoshi's Vision (BSV) - qui, à ce jour, restent des chaînes beaucoup plus petites, moins valorisées et utilisées, par rapport au Bitcoin original (BTC) (CoinMarketCap, s.d._[20]).

L'implication permanente de Buterin et des autres fondateurs d'Ethereum dans la gouvernance du réseau a permis d'ouvrir différentes possibilités pour le réseau - en particulier son adaptation au fonctionnement des entreprises et des gouvernements qui cherchent à rationaliser les applications et services commerciaux de base. Les contrats intelligents d'Ethereum permettent aux organisations d'exécuter des tâches qui nécessitent une coordination considérable entre des parties qui peuvent ne pas se faire confiance ou même ne pas se connaître : régler

des paiements, fournir des services de séquestre, verser des dividendes aux investisseurs, permettre un vote électronique sécurisé ou suivre des unités de stock dans une chaîne d'approvisionnement. La société ConsenSys, fondée par Joseph Lubin, cofondateur d'Ethereum, se concentre entièrement sur la fourniture de DApps pour les entreprises en utilisant Ethereum (ConsenSys, s.d._[37])

Encadré 11.2 Preuve de participation

Les partisans de la preuve de participation (*proof of stake* - PoS) affirment que le coût énergétique sans cesse croissant de la validation par preuve de travail (PoW en anglais) a rendu la gestion des nœuds de blockchain prohibitive pour les gens ordinaires, car elle a entraîné une centralisation du pouvoir de minage entre des groupes puissants appelés « coopératives de minage » (Muzzy, 2020_[30]). Pour y remédier, la preuve de participation requiert du mineur (ou « faussaire », comme on l'appelle parfois pour le différencier des utilisateurs de la preuve de travail) qu'il mette en jeu sa propre cryptomonnaie pour valider une transaction plutôt que de dépenser de l'énergie pour résoudre des problèmes mathématiques complexes. La sanction d'une transaction malhonnête dans un système PoS se traduit par la confiscation à divers degrés de la cryptomonnaie. Dans le cas d'Ethereum, le passage à un système PoS se justifie également dans la mesure où il s'agit de la condition préalable pour sécuriser le développement de la capacité transactionnelle du réseau.

Cependant, le PoS a aussi ses détracteurs. Le cabinet d'études Messari a souligné que le PoS pouvait créer un système de gouvernance de blockchain selon les classes socio-économiques, dans lequel les participants les plus riches d'un réseau de blockchain ont davantage leur mot à dire sur ce qui est vrai ou validé sur le réseau (Watkins, 2020_[31]). Ce risque est particulièrement aigu pour les blockchains qui mettent en œuvre la « gouvernance sur la chaîne » - une façon de placer le contrôle du développement technique d'un réseau entre les mains des détenteurs de jetons plutôt que des développeurs principaux, qui sont parfois perçus comme n'ayant pas de comptes à rendre aux utilisateurs du réseau (Messari.io., 2019_[32]). En termes simples, il existe un risque que les riches détenteurs de jetons faussent les décisions relatives à la gouvernance des systèmes PoS afin de maximiser leur profit personnel.

Les détenteurs de jetons fortunés peuvent être les investisseurs initiaux d'un réseau qui reçoivent d'importantes allocations de cryptomonnaies en échange de leur soutien financier initial. Il peut également s'agir d'investisseurs qui achètent de grandes quantités de cryptomonnaies du réseau et les utilisent pour valider fréquemment des transactions, accumulant ainsi de plus en plus de récompenses pour la validation - une dynamique d'enrichissement qui finit par évincer les petits détenteurs de cryptomonnaies du réseau (Watkins, 2020_[31]). D'autres détracteurs du PoS soutiennent que le développement de la capacité transactionnelle d'un réseau blockchain ne doit pas nécessairement se faire sur la chaîne. Par exemple, la nécessité de faire évoluer les systèmes PoW « lents » comme le Bitcoin a donné naissance à une industrie florissante d'applications de « couche 2 » qui permettent aux utilisateurs d'effectuer la plupart des transactions en dehors chaîne tout en utilisant la blockchain uniquement comme couche de règlement final (Coin Telegraph, s.d._[33]).

Il est important de noter ici qu'aucun réseau blockchain - Bitcoin, Ethereum ou autre - n'est apparu pour résoudre le problème de l'inégalité des richesses ou de leur redistribution. Aujourd'hui, les propriétaires de chaque cryptomonnaie ne représentent qu'un très petit nombre de personnes par rapport à la population mondiale, ce qui fausse nécessairement la distribution de la richesse en cryptomonnaie. Les réseaux de blockchain sont certes des initiatives essentielles pour nous aider à réimaginer la gouvernance au XXI^e siècle, mais leurs effets sociaux sont très ciblés et ne doivent pas être considérés comme des substituts à toutes les autres politiques et plateformes sociales.

Cependant, de nombreux acteurs institutionnels ne sont pas intéressés par l'utilisation d'une infrastructure numérique publique et ouverte pour mettre en œuvre des applications basées sur des contrats intelligents. L'*Enterprise Ethereum Alliance* (EEA) (s.d._[38]) a été créée afin de construire des versions d'Ethereum qui sont

publiques/fermées ou privées et qui ont des fonctionnalités spécialement conçues pour les cas d'utilisation spécifiques recherchés par les entreprises clientes (Sharma, 2019^[39]). L'EEA compte désormais plus de 200 entreprises qui mettent en œuvre des versions centralisées d'Ethereum, financées et gérées par des entreprises ou des gouvernements. Un exemple marquant de mise en œuvre d'Ethereum est l'infrastructure européenne de services blockchain (EBSI), une blockchain publique et fermée qui est développée par la Commission européenne pour fournir des services publics transfrontaliers (CEF Digital, s.d.^[40]). Dans le secteur privé, J.P. Morgan (membre de l'EEA) a été le fer de lance du développement de Quorum, une implantation fermée d'Ethereum mise au point spécifiquement pour le secteur financier (Quorum, s.d.^[41])

En 2015, la Fondation Linux a annoncé le lancement du projet Hyperledger, une initiative d'un consortium de sociétés technologiques, financières et de chaînes d'approvisionnement visant à construire des blockchains privées qui amélioreraient l'évolutivité et la fiabilité des chaînes publiques existantes (Wikipedia, s.d.^[42]). Le projet Hyperledger comprend maintenant plusieurs « boîtes à outils » de blockchain qui permettent aux organisations ou aux consortiums de créer des blockchains privées répondant à leurs besoins commerciaux spécifiques. Aucune de ces boîtes à outils ne crée de blockchain avec des cryptomonnaies, ce qui amène beaucoup de personnes à les appeler plutôt des registres distribués. Les boîtes à outils les plus connues aujourd'hui sont Hyperledger Fabric et Hyperledger Sawtooth. Hyperledger Besu est une initiative d'Enterprise Ethereum qui repose sur un code primaire, créée en 2019 (Castillo, 2019^[43]). Dans le monde de la certification, les boîtes à outils Hyperledger ont été utilisées par des entreprises, notamment Salesforce, Workday et Greenlight, pour construire des réseaux de blockchain qu'elles gèrent (Lemoie et Souares, 2020^[44]). Des entreprises telles qu'Amazon, IBM, Oracle et SAP utilisent également les boîtes à outils Hyperledger pour proposer des offres « Blockchain-as-a-Service » (BaaS) aux clients utilisant leurs infrastructures dans le cloud (Amazon, s.d.^[45] ; IBM, s.d.^[46] ; Oracle, s.d.^[47] ; SAP, s.d.^[48]). Certaines associations à but non lucratif utilisent également des boîtes à outils Hyperledger (entre autres) pour construire des infrastructures blockchain destinées à la fourniture de services publics et commerciaux. Parmi les exemples les plus connus, citons le consortium Alastria en Espagne (Alastria, s.d.^[49]) et l'initiative LACChain du Laboratoire d'innovation de la Banque interaméricaine de développement (ConsenSys, 2020^[50]).

La plateforme blockchain R3 Corda est un autre exemple de mise en œuvre de blockchain privée, adaptée aux entreprises. Fondée en 2014, R3 est une société privée qui a construit une blockchain pour gérer et synchroniser les accords financiers (Wikipedia, s.d.^[51]). La plateforme Corda, développée en code source ouvert en 2016, a été mise au point pour se conformer aux exigences techniques et aux normes de l'industrie financière. Depuis lors, Corda a évolué pour répondre aux besoins de multiples secteurs (son principal concurrent est sans doute Hyperledger Fabric, qui a été développé quelques années plus tard) (Shin, 2020^[52]). L'approche classique de Corda en matière de programmation informatique et de normes cryptographiques a récemment été récompensée par une étude de l'IEEE qui l'a considérée comme la seule plateforme blockchain compatible avec les normes NIST, et donc homologuée pour être utilisée par le gouvernement fédéral américain (Jessel, 2020^[53]). De manière un peu ironique, la première mise en œuvre de la blockchain par le gouvernement fédéral américain est en fait une plateforme de passation de marchés pour le département de la santé et des services sociaux, construite sur Hyperledger Fabric (Malone, 2020^[54]).

Enfin, un grand nombre de cryptomonnaies arrimées à la valeur des monnaies fiduciaires nationales - appelées « cryptomonnaies stables » - ont vu le jour pour faciliter les échanges de monnaie fiduciaire en cryptomonnaies et vice versa. Ces cryptomonnaies stables sont généralement « gérées et entièrement contrôlées par les sociétés privées qui les émettent et reçoivent des dépôts bancaires traditionnels en échange de l'émission de leurs monnaies respectives à destination de leurs clients » (Dagger, 2020^[55]). Cependant, des cryptomonnaies stables décentralisées voient également le jour, en grande partie pour contourner des dispositions légales lourdes et contradictoires qui visent l'utilisation de cryptomonnaies stables centralisées (Fitzpatrick, 2020^[56]). Toutefois, à mesure que les banques centrales des États commencent à émettre des monnaies fiduciaires numériques, la transition vers des cryptomonnaies stables centralisées gérées par les gouvernements est susceptible de s'accélérer.

Coûts et limites

Les blockchains, c'est du sérieux. Elles sont apparues pour résoudre le problème des généraux byzantins : comment créer un consensus entre un grand nombre d'acteurs antagonistes auxquels on ne peut faire confiance ? La réponse apportée - un réseau décentralisé de nœuds validant les transactions selon un mécanisme de

consensus partagé - ne fonctionne que si le réseau est déployé à grande échelle. Si une blockchain compte trop peu de validateurs, il est facile pour des acteurs malveillants de l'attaquer en acquérant une puissance de réseau suffisante pour annuler le consensus en leur faveur ou au détriment de quelqu'un d'autre. C'est ce qu'on appelle une attaque à 51 %. À l'inverse, si un petit réseau n'est constitué que d'acteurs de confiance, il n'a pas vraiment besoin d'être tolérant aux pannes, de sorte qu'il est généralement beaucoup moins coûteux et plus efficace dans ce cas-là d'utiliser des bases de données et des applications traditionnelles.

La création, le déploiement et l'exploitation d'un réseau de blockchains sont une entreprise colossale. Les blockchains publiques financent leurs opérations en proposant aux parties impliquées des incitations financières (liées à leurs cryptomonnaies initiales) : la récompense pour le minage du bitcoin et de l'éther en validant les transactions sur ces réseaux (et donc en les maintenant en fonctionnement et en sécurité) est en fait la cryptomonnaie bitcoin ou éther elle-même. En outre, des frais de transaction sont évalués et payés aux validateurs de blocs dans la cryptomonnaie du réseau.

Satoshi Nakamoto a conçu le protocole Bitcoin avec une réserve limitée de bitcoins (21 millions) et l'hypothèse d'une hyperbitcoinisation : si le réseau connaissait le succès, la valeur du bitcoin monterait en flèche et une grande partie de l'économie mondiale finirait par fonctionner sur la base de transactions en bitcoins. Cela signifie que, à mesure que les revenus tirés du minage diminuent et que l'utilisation du réseau augmente, le coût de fonctionnement et de maintenance du bitcoin pourrait être subventionné par les seuls frais de transaction (comme c'est le cas aujourd'hui pour des systèmes tels que VISA ou Master Card).

Les fondateurs d'Ethereum, en revanche, n'ont pas plafonné la quantité absolue d'éthers. Les éthers sont attribués pour chaque bloc miné, avec un montant qui a diminué au fil du temps (EthHub, s.d.^[57] ; ConsenSys, 2019^[58]) et un plafond annuel de 18 millions de nouveaux éthers (Sharma, 2019^[59]). Vitalik Buterin a fait le pari que le nombre d'éthers en circulation n'atteindrait pas 100 millions avant au moins un siècle (Buterin, 2016^[60]), mais en raison de la popularité du réseau, le seuil a été atteint en 2018 (Varshney, 2018^[61]). En conséquence, Buterin a proposé de plafonner le nombre total d'éthers à 120 millions pour éviter l'inflation (ou 144 millions si le plafond de 120 millions est dépassé), mais cette proposition n'a pas encore été acceptée (Varshney, 2018^[61]). Comme pour le Bitcoin, les utilisateurs d'Ethereum paient également des frais de transaction, mais surtout, les contrats intelligents ont besoin d'éther (ou de gaz) pour fonctionner. En d'autres termes, Ethereum a misé sur sa future domination non pas pour devenir la monnaie de réserve du monde, comme le Bitcoin, mais pour devenir l'ordinateur du monde. La combinaison de frais de transaction et de gaz pourrait financer le réseau Ethereum en cas de disparition des paiements liés au minage.

Les blockchains fermées et privées, en revanche, n'ont généralement pas de cryptomonnaies associées. Cela signifie qu'elles doivent être financées à grands frais, avec des montants qui s'élèvent facilement à des centaines de milliers, voire des millions de dollars chaque année. Dans certains cas, comme la gestion d'une chaîne d'approvisionnement pour tout un secteur industriel, un tel coût peut se justifier et être réparti entre les organisations membres pour générer un retour sur investissement. Toutefois, dans les cas où une seule organisation cherche à rationaliser ses processus internes, le coût est généralement bien supérieur à la valeur ajoutée. L'utilisation de blockchains là où une base de données privée fait l'affaire devient alors une expérience coûteuse, trop élaborée qui risque de se solder par un échec.

L'échelle nécessaire pour rentabiliser l'exploitation des blockchains commence à faire pencher la balance de nouveau vers les blockchains publiques. Après tout, les blockchains ne fournissent de la valeur que grâce aux effets de réseau, mais chaque blockchain privée est, de par sa nature conceptuelle, son propre réseau fermé. Si chaque entreprise développe sa propre blockchain privée, le monde risque de se retrouver avec un océan de réseaux privés construits sur des normes différentes qui ne sont pas interopérables. Le problème des silos de données se répète une fois de plus - cette fois, après des dépenses considérables en R-D.

Ernst & Young a été l'acteur le plus critique du secteur, affirmant que l'ère des blockchains privées est effectivement terminée. Paul Brody, responsable mondial de la blockchain chez EY, explique :

« Ce qui s'est généralement passé jusqu'à présent, c'est que pour chaque entreprise désireuse de rejoindre un consortium ou un réseau, il y en a deux qui ont créé le leur. L'effet « réseau » est donc potentiellement limité à l'avenir. Les blockchains, comme la plupart des technologies de réseau, sont des monopoles naturels. Plus elles ont d'utilisateurs, plus elles deviennent utiles, et une fois qu'elles ont atteint une position dominante, [les blockchains privées] ont tendance à commencer à réclamer des « redevances » à leurs membres. Après avoir observé ce modèle dans plusieurs applications grand public,

nous pensons, chez EY, que la plupart des entreprises préféreraient s'en tenir à leurs outils existants plutôt que de se retrouver dans une situation de monopole où des acteurs de blockchains privées sont tout puissants dans l'espace B2B. Les blockchains publiques comme Ethereum constituent un meilleur choix pour les entreprises. Même si elles parviennent à une domination de type monopolistique, il n'y a pas d'entité de contrôle pour en tirer des bénéfices excessifs - il n'y a qu'un écosystème de fournisseurs de services qui entrent en concurrence » (Brody, 2019_[62]).

Brody compare les blockchains publiques à Internet, une infrastructure partagée qui n'est pas contrôlée par une seule entreprise, mais qui est source de valeur pour toutes les entreprises. La comparaison est tout à fait pertinente. Aux premiers jours d'Internet, de nombreuses entreprises et gouvernements ont insisté pour disposer de leurs propres « intranets » - des réseaux privés auxquels on ne pouvait accéder qu'en interne. Avec le temps, cependant, seuls les intranets les plus sensibles ont été conservés, tandis que la plupart des processus commerciaux numériques ont été transférés sur le World Wide Web. Une tendance similaire se dessine aujourd'hui dans le monde de la blockchain, avec de nombreuses entreprises qui mettent l'accent sur les blockchains privées en pensant qu'elles sont plus sûres et plus efficaces, pour se rendre compte après des investissements considérables qu'elles ont réduit la valeur du réseau en limitant son accès.

L'affirmation de Brody selon laquelle les blockchains publiques ont considérablement évolué en matière de protection de la vie privée gagnerait à être replacée dans son contexte. Dès le début, les blockchains publiques ont limité le type de données pouvant être placées sur la chaîne. Il s'agissait de clés publiques, de hachages et, dans certains cas, de contrats intelligents. Cependant, il est possible pour les pirates de « piéger » les contrats intelligents publics - comme cela s'est produit lors du piratage de la DAO en 2016 - en exploitant des vulnérabilités. De la même manière, les clés publiques liées à des identifiants connus peuvent être utilisées pour effectuer une « analyse de réseau », en suivant les transactions d'un utilisateur sur une blockchain (Chainalysis, s.d._[63]). Cette capacité est utilisée par les forces de l'ordre pour suivre l'activité financière criminelle sur les blockchains (Weinstein, 2015_[64]). Bien que les hachages soient pratiquement impossibles à reconstruire pour révéler des données de transaction, on se demande actuellement s'ils pourraient ou non constituer des informations permettant d'identifier des individus en cas d'utilisation malveillante (Mearian, 2018_[65] ; Longstaff, 2018_[66]).

Les preuves sans transmission d'informations (ZKP = zero-knowledge proofs) répondent à ces préoccupations en dissimulant toutes les données de transaction sur les blockchains publiques. Bien que ce système soit attrayant pour de nombreux utilisateurs de blockchains, certains gouvernements et organismes de contrôle judiciaire s'inquiètent de son utilisation en raison des limites que cela imposerait à leur capacité à enquêter sur les crimes financiers. Jusqu'à récemment, Zcash et Sovrin (un code de base également cédé à la Fondation Linux sous le nom d'Hyperledger Indy) ont été les principales blockchains publiques employant des preuves sans transmission d'information (Sharma, 2019_[67] ; The Sovrin Foundation, 2018_[68]). L'activation de cette fonctionnalité pour Bitcoin et Ethereum pourrait être particulièrement précieuse en raison de l'importance de ces réseaux. Aujourd'hui, cependant, il existe une variété d'approches de limitation des données (restriction du type et de la quantité de données pouvant être vérifiées) utilisant les réseaux blockchain en plus des preuves sans transmission d'information.

Y a-t-il une place pour les blockchains privées à l'avenir ? Sans aucun doute, comme il y a un rôle pour certains intranets. Mais l'objectif de la technologie blockchain - faciliter les transactions, les accords et l'échange de données entre des acteurs non fiables à une très grande échelle - ne peut se réaliser à long terme que par l'interopérabilité. Cela ne signifie pas nécessairement qu'il n'y aura qu'une seule blockchain pour les gérer toutes, mais plutôt que les architectures blockchain qui facilitent l'échange et la validation des données à la plus grande échelle seront probablement les plus suivies et adoptées.

Normes ouvertes

Les blockchains ne garantissent pas à elles seules la portabilité des données ou l'interopérabilité des systèmes. Comme indiqué dans Encadré 11.1, les données ancrées dans une blockchain ne sont utiles que si elles peuvent être comprises et vérifiées de manière fiable. Étant donné que les blockchains publiques ne codent pas de données en clair dans la chaîne, et que les blockchains fermées et privées ont des normes très variables quant à ce qui est et n'est pas stocké dans la chaîne, la validation de l'identité, des transactions financières, des accords et de bien d'autres choses nécessite un moyen normalisé de partager, de vérifier et de lire les données ancrées dans la blockchain.

C'est là que les normes ouvertes entrent en jeu. Il ne s'agit pas d'applications, mais de moyens normalisés de formater, d'écrire, de partager, de récupérer et de vérifier des données. L'avènement de la technologie blockchain a suscité une innovation considérable en matière de normes ouvertes, car les entreprises, les gouvernements et les contributeurs individuels ont pris conscience de la nécessité d'une méthode commune pour vérifier l'authenticité/véracité des données. Les méthodes partagées réduisent la dépendance à l'égard des fournisseurs, ce qui permet aux organisations et aux particuliers d'éviter le type d'enfermement propriétaire qui résulte des méthodes de gestion des données dépendantes des plateformes.

L'organisation la plus importante qui développe aujourd'hui des normes ouvertes pour les données liées à la blockchain est sans doute le World Wide Web Consortium (W3C). Le W3C a été créé aux premiers jours d'Internet (1994) par Tim Berners-Lee, le MIT, le CERN, la DARPA et la Commission européenne pour codifier les normes ouvertes utilisées dans le but d'échanger des informations via l'infrastructure numérique mondiale du web (W3C, s.d._[69]). Le W3C est le principal organisme indépendant de normalisation de l'Internet dans le monde, qui s'appuie sur les contributions volontaires de nombreuses personnes et organisations.

Parmi les premières normes que le W3C développe pour les données ancrées dans la blockchain figurent les normes de vérification : comment vérifier la validité des informations fournies par une partie à une autre. Les plus importantes de ces normes sont les justificatifs vérifiables (Verifiable Credentials - VC -) (W3C, s.d._[70]) et les identifiants décentralisés (W3C, s.d._[71]). La norme ouverte des informations d'identification/justificatifs vérifiables est devenue une recommandation officielle du W3C en 2019. Elle est conçue pour fonctionner en tandem avec une nouvelle norme pour les identifiants numériques ancrés dans la blockchain, connue sous le nom d'identifiants décentralisés (DID), qui a été soumise pour recommandation en avril 2021.

La norme DID du W3C a pour objectif d'ajouter des fonctionnalités de confidentialité et de flexibilité à la cryptographie à clé publique qui est actuellement utilisée pour identifier les personnes et les organisations qui utilisent la technologie blockchain. Ensemble, les justificatifs vérifiables et les DID permettent l'évolution d'un écosystème indépendant de la blockchain, protégeant la vie privée et riche en fonctionnalités pour des justificatifs numériques sécurisés et inviolables. Pour ces raisons, le ministère américain de la Sécurité intérieure a accordé des subventions aux entreprises travaillant dans ce domaine pour accélérer le développement de ces nouvelles normes (US Department of Homeland Security, 2019_[72] ; US Department of Homeland Security, 2017_[73] ; US Department of Homeland Security, 2019_[74]). Les gouvernements adoptent aussi les VC et les DIDs, notamment le Canada (VON, s.d._[75] ; Benay, 2019_[76]), Singapour (OpenCerts, s.d._[77]), la Corée (Insights, 2020_[78]), et la Commission européenne (Du Seuil et Pastor, 2019_[79] ; EU Blockchain Observatory and Forum, 2019_[80]).

Il est important de noter que les normes VC et DID sont neutres par rapport à la forme ou au contenu d'un document numérique. Elles fonctionnent de la même manière que les documents soient éducatifs, financiers, professionnels ou confidentiels. D'autres organismes de normalisation ont été créés pour répondre au besoin de normalisation du contenu et de la forme des enregistrements au sein de différents secteurs. Dans la mesure où ce chapitre se concentre sur les applications de la blockchain au secteur de l'éducation, nous nous concentrerons ici sur ces mises en œuvre spécifiques. Au W3C, cela inclut le groupe de travail Verifiable Credentials for Education (W3C, s.d._[81]) et le groupe communautaire Educational and Occupational Credentials in Schema.org (W3C, s.d._[82]). Parmi les autres normes de description des titres de compétence, citons le Common Microcredential Framework (CMF) lancé par le Consortium européen des MOOC (Konings, 2019_[83]), le Credential Transparency Description Language développé par le Credential Engine (Credential Engine, s.d._[84]) et la Badge Alliance (Alliance, s.d._[85]), ainsi que les normes Comprehensive Learner Record (CLR) sous la responsabilité d'IMS Global (IMS Global, s.d._[86]). Le W3C travaille en étroite collaboration avec certaines de ces institutions - comme le Credential Engine et IMS Global - pour renforcer leurs efforts et mettre au point des définitions de dossiers interopérables au niveau mondial.

Le W3C n'est cependant pas la seule organisation à travailler sur l'interopérabilité des normes de vérification décentralisées. La vérification de titres de compétences n'est qu'une application des informations vérifiables dans le cadre plus large de l'identité numérique. Parmi les autres groupes travaillant sur la prochaine génération d'infrastructure d'identité basée sur le Web, citons Rebooting Web of Trust (RWoT) (Web of Trust, s.d._[87]), l'Internet Identity Workshop (IIW) (Internet Identity Workshop, s.d._[88]), le T3 Innovation Network de la Fondation de la Chambre de commerce des États-Unis (US Chamber of Commerce Foundation, s.d._[89]), le Digital Credentials Consortium (MIT Open Learning, 2020_[90]), la Trust Over IP Foundation (hébergée par la Linux Foundation) (Trust Over IP

Foundation, s.d.^[91]) (The Linux Foundation, 2020^[92]) et la Decentralised Identity Foundation (DIF) (Decentralized Identity Foundation, s.d.^[93]). Plus récemment, le Learning Technology Standards Committee (LTSC) de l'IEEE (IEEE, s.d.^[94]) et la Learning Economy Foundation (Learning Economy Foundation, s.d.^[95]) ont présenté un « Internet de l'éducation (IoE) » (Internet of Education, s.d.^[96]) pour unifier ces consortiums et d'autres qui travaillent sur des normes techniques pour l'éducation et la vérification des titres et diplômes (Education, s.d.^[97]).

Il existe un recoupement important entre les participants de ces groupes, bien que leurs membres cibles soient différents. La Trust Over IP Foundation et le DIF sont principalement des organisations d'entreprises ; le T3 Innovation Network est une organisation publique-privée ; la Learning Economy Foundation attire des membres ayant une expérience dans le domaine de la technologie et de la politique de l'éducation ; le Digital Credentials Consortium est une organisation universitaire ; et le RWoT et le IIW attirent des technologues bénévoles passionnés par la confidentialité et l'autonomie de l'Internet, quelle que soit leur école de pensée. Le W3C fonctionne comme une sorte de nœud visant à établir un consensus technique entre ces groupes et d'autres.

Identité autosouveraine

Les efforts visant à construire une architecture normalisée pour une identité décentralisée sur le web se recoupent fortement avec le mouvement de l'identité autosouveraine (SSI en anglais). Le concept d'« auto-souveraineté » fait encore débat, d'aucuns se demandent même si elle est souhaitable, mais ses partisans sont généralement motivés par leur volonté de donner aux utilisateurs individuels des technologies numériques un plus grand contrôle sur leurs données personnelles (Smolenski, 2016^[98]). Cela signifie, entre autres choses, de libérer les utilisateurs de leur dépendance vis-à-vis des plateformes et des gouvernements en matière de gestion de données. En effet, la portabilité des données et l'indépendance vis-à-vis des plateformes peuvent être les deux caractéristiques les plus déterminantes de l'identité numérique autosouveraine, certains affirmant que ces caractéristiques sont plus parlantes en pratique que le terme « auto-souverain » (Renieris, 2020^[99]).

On peut soutenir que la formulation la plus connue des principes de l'identité autosouveraine a été faite par l'informaticien Christopher Allen dans un billet de blog de 2016 largement diffusé (Allen, 2016^[100]). Depuis lors, il y a eu beaucoup d'échanges sur la signification de chacun de ces principes et sur les déploiements technologiques qui y répondent le mieux. Les adeptes de diverses philosophies SSI ou proches de la SSI participent activement à l'élaboration de normes concernant l'identité numérique par le biais des organismes de normalisation susmentionnés, et leurs points de vue sont souvent très différents. En outre, l'élaboration des normes SSI doit tenir compte des réglementations juridiques en vigueur par rapport à l'utilisation de la cryptographie et de la protection des données. Cette situation se traduit par une augmentation d'implantations techniques qui concernent la définition des normes plutôt que leur consolidation au sens large. Néanmoins, on progresse vers des normes interopérables, centrées sur l'utilisateur, qui concernent les justificatifs vérifiables et l'identité numérique (T3 Innovation Network, 2020^[101]).

Avantages de la blockchain pour la vérification des titres et diplômes

Les blockchains sont nées en proposant une infrastructure permettant de vérifier les transactions sur un réseau antagoniste, c'est-à-dire un réseau dont les parties ne se font pas confiance. Bien que la fonctionnalité de la blockchain puisse être étendue à l'exécution de processus commerciaux automatisés par le biais de contrats intelligents, sa valeur première reste de servir de source de vérité unique et partagée. La double fonctionnalité de vérification et de contrat intelligent de la blockchain a le potentiel d'automatiser les processus opérationnels liés à l'éducation, tels que le transfert de titres et diplômes, le transfert de dossiers universitaires, l'établissement d'équivalences de titres, et même le fonctionnement administratif des universités.

Les blockchains ne sont toutefois pas une condition préalable à l'automatisation des processus opérationnels. De nombreuses applications logicielles existantes le font, et celles qui utilisent des flux de travail, l'automatisation intelligente des processus et l'automatisation robotique des processus ont considérablement amélioré une grande partie de cette fonctionnalité. Quand l'utilisation de blockchains est-elle donc essentielle pour atteindre les objectifs d'automatisation ? Cela peut être le cas si ladite automatisation doit se produire dans un réseau d'acteurs antagonistes et non coordonnés. Si c'est le cas, la question qui se pose est de savoir si on peut obtenir des effets de réseau suffisants pour rentabiliser le coût élevé de la construction et de la maintenance d'un réseau de blockchains.

Prenons un exemple concret souvent utilisé pour illustrer les avantages de la blockchain dans l'éducation : l'automatisation de l'établissement des équivalences de crédits lorsque les étudiants passent d'un établissement scolaire à un autre. Si certains affirment que les blockchains résoudront ce problème (et certains fournisseurs ont construit des réseaux de blockchains spécifiquement en ce sens), les systèmes de suivi des candidats et les bases de données existantes pourraient également déterminer automatiquement les équivalences de crédits en utilisant des définitions largement acceptées de ce que signifient les crédits et des normes largement acceptées pour le transfert de données éducatives. En d'autres termes, le principal obstacle aux transferts de crédits automatisés n'est pas, à ce jour, d'ordre technologique, mais social : chaque entité juridique (jusqu'à l'université ou l'établissement scolaire) a souvent ses propres définitions de crédits et peut être réticente à les rendre transférables en utilisant des définitions établies ailleurs. Cet exemple illustre le fait que, parfois, la « blockchain » peut être présentée comme une solution à des problèmes qui, en réalité, nécessitent des formes de consensus social en dehors de la chaîne. Dans certaines régions, cela peut être plus facile au niveau de l'enseignement supérieur, car des définitions et des normes communes pour les crédits ont été établies et approuvées. C'est, par exemple, le cas dans l'Union européenne, avec le système européen de transfert de crédits.

Peut-être que la blockchain pourrait être la pièce manquante qui permet à une application de coordonner une action entre plusieurs parties qui, autrement, auraient besoin d'un tiers fiable pour agir en tant que médiateur. Nous évoquons ci-dessous l'exemple très concret d'un prestataire d'offres éducatives qui a adopté l'approche de la blockchain. Cet exemple illustre l'argument avancé ci-dessus : la blockchain ne fournit peut-être pas encore un niveau de valeur d'automatisation qui justifie son utilisation. L'Université Woolf, initialement présentée comme une « université blockchain » dans les médias mondiaux (Young, 2018^[102] ; Vander Ark, 2018^[103]), a été initialement construite sur une plateforme de registre distribué (Parisi, 2018^[104]). Comme l'explique Joshua Broggi, fondateur de Woolf, « nous utilisons une blockchain pour créer des gains d'efficacité en gérant les frais de scolarité des étudiants, en appliquant les normes réglementaires en matière de certification et en automatisant un certain nombre de processus » (Vander Ark, 2018^[103]). L'Université Woolf a expérimenté différents modèles de blockchain au cours de ses premières années d'activité, mais s'est ensuite éloignée de la technologie blockchain. Au lieu de cela, Woolf présente désormais son offre comme une plateforme de type logiciel en tant que service (software as a service - SaaS -) hébergée dans le cloud destinée aux organisations et étudiants, offrant une mission sociale d'accès à une éducation de qualité de n'importe quel endroit dans le monde. L'Université Woolf se présente désormais comme « l'université sans frontières » et est effectivement fréquentée par des professeurs et des étudiants du monde entier (Woolf University, s.d.^[105]). Des applications web ont permis de rationaliser le fonctionnement administratif de l'université sans blockchain.

En revanche, d'autres entreprises qui mettent au point des plateformes éducatives basées sur la blockchain revendiquent leur utilisation de la blockchain. Il s'agit notamment d'ODEM (Maaghul, 2019^[106]) et de BitDegree (BitDegree, 2017^[107]), qui utilisent toutes deux la blockchain publique Ethereum et disposent de leurs propres jetons ERC20. Aux États-Unis, la Learning Economy Foundation (Learning Economy Foundation, s.d.^[95]) a présenté une vision d'un « écosystème » basé sur la blockchain qui unit les autorités de délivrance des titres, les étudiants, les employeurs et les entreprises de technologie de l'éducation dans un marché partagé où les résultats éducatifs sont valorisés par la monétisation (« récompenses »). Les cofondateurs de la Learning Economy Foundation, Chris Purifoy et Jacksón Smith, décrivent leur vision comme suit dans un article du *G20 Summit Magazine* : « En quantifiant la véritable valeur de l'éducation, il est possible de construire toute une économie autour d'elle afin de payer les étudiants pour qu'ils apprennent, les professionnels de l'éducation pour qu'ils créent des cours sérieux et les gestionnaires pour qu'ils aident la Learning Economy à se développer. La blockchain fournit un moyen décentralisé à tous ceux qui ajoutent de la valeur à l'éducation mondiale pour qu'ils se coordonnent autour du patrimoine commun sans les frictions propres aux partenariats isolés. » (Purifoy et Smith, 2018^[108]).

Les fondateurs de la Learning Economy prévoient que la construction de leur plateforme blockchain créera une « ruée vers l'apprentissage » (le titre de leur plan de mise en œuvre) (Learning Economy Foundation, s.d.^[109]) où tout le monde sera incité à enseigner, apprendre et recruter grâce à des récompenses financières administrées par le réseau.

Le modèle de la Learning Economy a repoussé les perspectives de la blockchain encore plus loin, en supposant que les réseaux blockchain seront capables non seulement de coordonner l'action sociale, mais aussi de le faire d'une manière qui créera des récompenses financières suffisamment motivantes qui seront automatiquement administrées à toutes les parties prenantes d'un marché, réalisant ainsi l'objectif vaguement défini d'« améliorer

les résultats d'apprentissage » de manière ascendante. Cette vision semble noble et louable certes, mais elle frise l'utopie et est en décalage avec les capacités réelles de tout réseau blockchain. À long terme, ce sont les projets de vérification de titres basés sur des normes dans lesquels la Learning Economy est engagée qui connaîtront probablement le plus de succès (voir « déploiement dans le monde réel », ci-dessous).

À court terme, par conséquent, la valeur principale de la blockchain en éducation est probablement plus fondamentale : elle rend la vérification des titres de compétences plus rapide, moins chère et plus sûre. Lorsqu'elles sont utilisées en combinaison avec des normes ouvertes, les blockchains suppriment les dépendances actuelles vis-à-vis des institutions qui délivrent les titres, des fournisseurs de logiciels et des tiers pour vérifier les documents officiels. En outre, les blockchains permettent aux émetteurs et aux destinataires d'être directement propriétaires des justificatifs numériques.

On ne soulignera jamais assez que l'utilisation de *normes technologiques ouvertes* pour l'émission, le stockage, le partage et la vérification des justificatifs numériques est la condition préalable à la concrétisation de ces avantages de la technologie blockchain (Jagers, 2018_[110]). Comme tout autre type de logiciel, une blockchain peut fonctionner en vase clos s'il n'existe aucun moyen de rendre les données qu'elle référence communicables à autrui. Il est donc logique que le développement de normes ouvertes partagées pour les justificatifs vérifiables soit l'un des domaines de la technologie blockchain qui évolue le plus rapidement.

Les normes W3C, qui concernent les justificatifs vérifiables et les identifiants décentralisés décrits dans la section précédente, enregistrent aujourd'hui certaines de leurs premières applications dans le secteur de l'éducation. Le travail de vérification des titres de compétences numériques effectué depuis des années par les établissements d'enseignement, les organisations à but non lucratif et les entreprises de technologie éducative a jeté les bases de la formulation des normes du W3C. Le MIT et la société Learning Machine ont développé une première version des titres de compétences vérifiables, Blockcerts (Blockcerts, s.d._[111]), spécifiquement pour les certificats d'études tels que les diplômes et les relevés de notes. Blockcerts est, lui, issu de la norme Open Badges pour les justificatifs numériques portables, qui a été lancée par la Fondation Mozilla en 2011 et est passée sous la tutelle d'IMS Global en 2017 (Wikipedia, s.d._[112]).

Blockcerts a apporté des améliorations notables à Open Badges en matière de sécurité et de portabilité, ce qui a permis son utilisation pour un plus large éventail de cas de certification à enjeu élevé, comme les diplômes et les relevés de notes (Federation of State Medical Boards, 2019_[113]). Les bibliothèques de référence Blockcerts ont été publiées en 2016 sous une licence MIT de logiciel libre et en code source ouvert (Learning Machine Newsroom, 2016_[114]). En 2017, Learning Machine a été la première entreprise à lancer une plateforme commerciale d'émission de Blockcerts, qu'elle a vendue à des établissements d'enseignement pour la délivrance de diplômes numériques et d'autres certificats éducatifs (Hyland Credentials, s.d._[115]). D'autres entreprises lui ont rapidement emboîté le pas, et certains établissements ont également développé leurs propres plateformes d'émission Blockcerts (McMaster University Office of the Registrar, s.d._[116] ; Universidad Carlos III de Madrid, 2018_[117]). Dans un projet connexe, le gouvernement de Singapour a embranché le code de base de Blockcerts pour créer ses propres normes ouvertes pour les justificatifs numériques, OpenCerts (OpenCerts, s.d._[118]). En 2020, Learning Machine a été racheté par la société de services de contenu Hyland et rebaptisé Hyland Credentials.

Alors que la spécification W3C des justificatifs vérifiables est bien rodée, les dépositaires de Blockcerts et d'Open Badges (ainsi que d'OpenCerts) se sont engagés à mettre à jour les normes pour qu'elles soient conformes à cette spécification. C'est possible, car la spécification VC est suffisamment souple pour s'adapter à de nombreux types de justificatifs différents. La standardisation de l'utilisation des VC dans le secteur de l'éducation permettra d'améliorer considérablement l'échange de justificatifs et l'interopérabilité entre les plateformes logicielles (T3 Innovation Network, 2020_[101]). En outre, le travail effectué pour normaliser les définitions des titres et certificats éducatifs facilitera considérablement le traitement et l'échange des dossiers scolaires entre les établissements et au-delà des frontières.

Les avantages de l'utilisation de la technologie blockchain en combinaison avec ces normes ouvertes émergentes pour les diplômes sont notamment les suivants : éliminer la fraude aux dossiers ; rationaliser et réduire le coût du partage et de la vérification des dossiers, et rendre aux individus le contrôle sur leurs données personnelles tout en réduisant le risque pour les établissements.

Éliminer la fraude aux diplômes

Situation actuelle

La fraude aux dossiers universitaires est omniprésente. Des études estiment que plus de 100 000 diplômes sont simplement achetés chaque année aux États-Unis (Accredited Online Colleges, s.d._[119]) ; ce chiffre concernerait plus de la moitié de tous les doctorats (Ezell et Bear, 2012_[120]). En outre, la validation de l'authenticité d'un dossier est un processus distinct de la validation de l'authenticité d'un établissement : on peut acheter un « vrai » diplôme auprès d'un faux établissement, et également de faux diplômes qui semblent provenir de vrais établissements. En 2012, on comptait plus de 3 300 universités non reconnues dans le monde, dont beaucoup n'étaient que des usines à diplômes (Ezell et Bear, 2012_[120]) ; aujourd'hui, ce nombre est probablement beaucoup plus élevé. En outre, des étudiants cherchant à augmenter leurs chances d'être admis dans certains emplois ou programmes d'études peuvent modifier des dossiers universitaires dans de véritables établissements. Ce problème est si aigu dans certaines régions que certains établissements secondaires ont tout simplement cessé de délivrer des relevés de notes (Smolenski, 2018_[121]).

Les licences professionnelles sont tout autant falsifiées que les dossiers universitaires. Rien qu'aux États-Unis, une étude de l'Université d'État de l'Ohio a estimé que jusqu'à 2 millions de praticiens dans les soins de santé exerceraient avec des diplômes falsifiés ou des licences frauduleuses (Gibson, 2017_[122]). Des reportages font régulièrement surface dans des pays du monde entier sur des praticiens exerçant sans licence ou avec des licences falsifiées (Gibson, 2017_[122]) (CNN, 2020_[123]). Pour les raisons susmentionnées, un écosystème d'organisations de vérification des titres a vu le jour pour valider l'authenticité des établissements et des dossiers ; toutefois, leur efficacité reste limitée.

Le problème de la fraude aux dossiers universitaires et des établissements d'enseignement supérieur non accrédités délivrant des diplômes sans valeur a limité les avantages de l'internationalisation de l'enseignement supérieur (OECD, 2004_[124]). En 2005, l'UNESCO et l'OCDE ont publié des « Lignes directrices pour des prestations de qualité dans l'enseignement supérieur transfrontalier », qui ont été suivies par la mise en place d'une base de données des établissements accrédités qui est maintenue par l'UNESCO (OECD, 2005_[125]). Il est, toutefois, difficile d'exploiter cette base de données et de la mettre à jour.

Blockchain et normes ouvertes

La blockchain fournit une infrastructure de vérification décentralisée et transnationale permettant d'éviter la fraude, de faciliter la mobilité internationale des étudiants et de protéger le public contre les praticiens possédant de faux titres partout dans le monde. Les technologies blockchain, utilisées en combinaison avec des normes ouvertes de premier plan comme Blockcerts et Verifiable Credentials, font appel à une cryptographie avancée en association avec des signatures numériques pour valider à la fois la provenance d'un titre (l'institution qui l'a délivré) et le destinataire officiel (à qui il a été délivré). Les signatures numériques et les données hachées, combinées à un registre immuable de la blockchain, garantissent qu'un justificatif n'a pas été falsifié. La vérification décentralisée permet à n'importe quel tiers (employeur, gouvernement, établissement ou individu) de vérifier si un justificatif a réellement été délivré par l'organisation concernée à la personne concernée et si des modifications ont été apportées au justificatif depuis sa délivrance. L'annulation et l'expiration des justificatifs peuvent également être validées instantanément avec un niveau de confiance maximal. De même que ces normes techniques peuvent être utilisées pour valider les titres délivrés aux personnes, elles peuvent également servir à valider l'origine institutionnelle de ces titres, y compris des éléments tels que le statut de certification.

Rationaliser et réduire le coût du partage et de la vérification des documents

Situation actuelle

Aujourd'hui, une personne qui postule un emploi ou veut poursuivre ses études doit demander son dossier scolaire officiel à l'établissement où elle a étudié, souvent moyennant des frais, selon le pays ou l'établissement. Elle doit également demander que son dossier soit envoyé à l'établissement dans lequel elle postule. C'est l'établissement initial ou un fournisseur de logiciels avec lequel l'établissement est sous contrat qui s'acquitte de cette tâche. L'établissement destinataire valide ensuite le justificatif en vérifiant son authenticité à l'aide de la solution du fournisseur de logiciels, en contactant l'établissement ou en vérifiant auprès d'un organisme tiers de vérification des justificatifs. Ce processus prend du temps et est souvent coûteux.

Il s'agit là du scénario idéal, dans lequel l'institution émettrice existe toujours et est en mesure de localiser, de valider ou d'envoyer les documents à l'institution destinataire (partie utilisatrice). Cependant, dans de nombreux cas, notamment dans les pays où des troubles politiques ou des catastrophes naturelles ont eu lieu, les documents ont été détruits et les institutions émettrices peuvent ne plus opérer. De nombreux détenteurs de documents (les titulaires des documents) se verront alors refuser des occasions d'emploi, de résidence, de naturalisation ou de poursuite d'études parce que leurs qualifications ou même leurs identités ne peuvent être validées.

Lorsque les documents qui doivent être vérifiés ont été délivrés dans un pays étranger, un processus encore plus complexe appelé apostille doit être mis en œuvre. En 1961, un groupe de pays a signé un traité supprimant l'obligation de légaliser les actes publics étrangers (Hague Convention, 1961^[126]). Les pays signataires de la Convention Apostille ont recours à un processus d'apostille pour authentifier les documents émis par les autorités compétentes. Les pays qui ne sont pas signataires de ladite Convention exigent un certificat d'authentification des autorités fédérales du pays émetteur pour valider l'authenticité d'un acte public étranger (US Department of State, Bureau of Consular Affairs, s.d.^[127]). Le processus d'authentification consiste à transmettre le document physique original, souvent accompagné d'un formulaire de demande et d'une taxe, à une institution gouvernementale habilitée à délivrer l'apostille ou le certificat d'authentification. Cette institution appose ensuite un cachet sur le document ou produit un certificat et renvoie le(s) document(s) par courrier au destinataire, qui doit ensuite les transmettre aux autorités du pays étranger dans lequel il a l'intention de vivre, de travailler ou d'étudier. Cette procédure prend en moyenne plusieurs mois et entraîne un coût financier pour le bénéficiaire. Si les documents ne peuvent pas être authentifiés, le bénéficiaire perd des occasions de voyage, d'emploi ou d'études.

Blockchain et normes ouvertes

La combinaison de la blockchain et des normes ouvertes permet aux établissements émetteurs de ne délivrer les dossiers aux destinataires qu'une seule fois. Ensuite, les destinataires peuvent prouver de manière cryptographique que celui-ci leur a été délivré et par quel établissement. Les destinataires peuvent partager leurs dossiers à leur gré, et même choisir les données à divulguer. Les dossiers peuvent être vérifiés par toute personne à qui le destinataire en accorde l'accès, instantanément et gratuitement. Cela simplifie non seulement la validation des titres universitaires, comme les diplômes et les relevés de notes, mais aussi de tout document devant être apostillé (ainsi que le certificat d'apostille lui-même). En 2020, les sociétés Hyland et Hedera Hashgraph ont annoncé une preuve de concept pour ancrer les apostilles électroniques dans une blockchain en partenariat avec le Secrétaire d'État du Texas (Texas Blockchain Council, 2021^[128]). Cette preuve de concept s'appuie à la fois sur des justificatifs vérifiables et sur le hachage de fichiers PDF, ainsi que sur une gestion du flux de travail basée sur des applications pour rationaliser et automatiser une grande partie du processus d'émission et de vérification des apostilles.

Grâce à l'authentification par blockchain selon des normes ouvertes, même si une institution émettrice cesse d'opérer, si des dossiers sont perdus ou si le fournisseur de logiciels dont le produit a été utilisé pour émettre de telles authentifications numériques n'existe plus, le destinataire possède toujours des versions vérifiables de ses dossiers et peut les partager et les vérifier à sa guise. Comme les justificatifs vérifiables sont aussi lisibles de manière automatique, les établissements qui vérifient les dossiers entrants peuvent les présélectionner en fonction des qualifications des candidats pour des programmes d'études particuliers. Cette approche réduit considérablement les frais généraux de l'établissement d'accueil liés à la validation des dossiers, tout en éliminant les frustrations pour les bénéficiaires qui cherchent des possibilités d'apprentissage supplémentaires.

Lorsque des normes de vérification des titres de compétences sont utilisées, il importe peu que l'organisation devant vérifier un titre soit située dans le même pays ou dans un pays différent de celui dans lequel il a été délivré. Toute autorité d'un pays étranger peut valider les documents d'identité et les qualifications d'un individu en vérifiant l'authenticité du document, les identifiants cryptographiques de l'émetteur et du destinataire, et le statut du dossier. En bref, l'utilisation de la blockchain combinée à des normes ouvertes pourrait, au fil du temps, réduire considérablement, voire éliminer, la nécessité d'un processus international d'apostille ou de certificats d'authentification.

Les normes ouvertes pour la certification basée sur la blockchain sont donc susceptibles d'accroître la confiance dans le processus d'immigration et les voyages internationaux en général. C'est la raison pour laquelle des organismes gouvernementaux comme le ministère américain de la Sécurité intérieure ont investi dans le développement de justificatifs vérifiables et d'identifiants décentralisés : ils les considèrent comme des normes

technologiques anti-contrefaçon à utiliser par des agences fédérales comme les douanes (Customs and Border Protection) et la sécurité dans les transports (Transportation Security Administration).

En fin de compte, l'utilisation de dossiers numériques vérifiables, rendue possible par la technologie blockchain et les normes ouvertes, réduira considérablement les frais généraux humains et technologiques actuellement associés à la validation des dossiers émis à la fois sur papier et sur formats numériques classiques.

Rendre aux individus le contrôle de leurs données tout en réduisant le risque pour les établissements

Situation actuelle

Aujourd'hui, les personnes peuvent avoir en leur possession des copies ou même des originaux de leurs dossiers officiels, mais elles ne peuvent généralement pas les faire valider par un tiers sans demander au préalable aux institutions qui ont délivré ces dossiers de les authentifier à nouveau ou de renvoyer des versions authentifiées de ces dossiers. Cela rend souvent les dossiers officiels en possession de l'individu sans valeur fonctionnelle. Cette situation prive le titulaire des dossiers de sa capacité à les partager et à les vérifier, et il se retrouve à dépendre des institutions émettrices et des organismes de vérification tiers. En quelque sorte, les individus ne sont pas réellement propriétaires de leurs dossiers, même si ces derniers sont en leur possession.

La situation actuelle accroît également la responsabilité des institutions, qui sont chargées de conserver et de valider à vie les dossiers officiels pour le compte de leurs bénéficiaires. Non seulement ces institutions doivent conserver et sauvegarder des masses croissantes de données personnelles, mais comme ce sont elles qui communiquent les documents au nom des individus, elles doivent se conformer à des réglementations onéreuses pour protéger la vie privée des personnes concernées. Les amendes pour mauvaise gestion des données peuvent être particulièrement élevées, en particulier dans le cadre d'une nouvelle législation telle que le Règlement général sur la protection des données (RGPD) de l'UE.

Blockchain et normes ouvertes

Une fois qu'un justificatif ancré dans la blockchain est délivré à un individu à l'aide de normes ouvertes, celui-ci est en possession d'un fichier numérique qui atteste de la provenance et de l'intégrité du justificatif, ainsi que de sa détention. Les individus disposent désormais d'un dossier utilisable qu'ils peuvent communiquer instantanément, sans frais, à qui ils veulent. Les dossiers numériques de la blockchain peuvent être réutilisés indéfiniment sans qu'il soit nécessaire de les réémettre ou d'obtenir une validation supplémentaire de la part de l'autorité émettrice ou de toute autre partie.

Puisque le lieu de propriété et de partage des dossiers se déplace vers l'individu, tandis que la vérification est décentralisée, les institutions émettrices n'ont plus besoin de communiquer les dossiers pour le compte de leurs bénéficiaires et peuvent réduire considérablement les frais de maintenance des dossiers internes. Il n'est donc plus nécessaire de stocker de grandes quantités de données à caractère personnel pendant de longues périodes et la gestion des données institutionnelles s'en trouve simplifiée, car les circonstances dans lesquelles une institution doit partager les données à caractère personnel d'un bénéficiaire sont considérablement réduites.

Résumé

Les avantages de la technologie blockchain en combinaison avec des normes ouvertes pour la vérification de titres de compétences et diplômes - comme les justificatifs vérifiables W3C et les identifiants décentralisés, entre autres - constituent une liste impressionnante qui peut être regroupée en trois grandes catégories :

1. *Sécurité.* Les normes ouvertes pour la vérification par blockchain empêchent la fraude, atténuent les risques pour les institutions qui émettent et valident les documents officiels : elles protègent les titulaires de qualifications ainsi que la réputation des prestataires de services éducatifs. À mesure que l'adoption de justificatifs vérifiables augmentera, leur utilisation dans la vérification de titres et diplômes, la sélection et l'embauche deviendra probablement une bonne pratique dans le secteur, voire une obligation légale.
2. *Bien public.* Les dossiers blockchain qui utilisent des normes ouvertes lèvent les obstacles qui gênent l'accès aux débouchés et facilitent le développement économique en augmentant la confiance dans les institutions et dans les qualifications de la main-d'œuvre tout en atténuant les effets dévastateurs des conflits politiques

et des catastrophes naturelles. Lorsque les individus contrôlent leurs propres dossiers, ils sont libres de continuer à les utiliser n'importe où dans le monde, tandis que les parties utilisatrices peuvent avoir une confiance absolue dans les titres de compétences délivrés n'importe où.

3. *Efficacité*. Les dossiers blockchain qui utilisent des normes ouvertes augmentent considérablement l'efficacité et la facilité de la gestion des dossiers : la nécessité de réémettre ou de vérifier manuellement les documents diminue drastiquement ; la nécessité d'utiliser d'autres formats de dossiers disparaît au fil du temps et la communication et la vérification des dossiers sont instantanées et gratuites. Des processus tels que les transferts de crédits, qui sont notoirement complexes et longs pour les établissements d'enseignement, peuvent être automatisés avec l'arrivée de contenus de cours vérifiés et lisibles par machine.

Ces avantages font l'objet d'un consensus croissant. Un récent rapport du T3 Innovation Network de la Fondation de la Chambre de commerce des États-Unis sur les avantages de l'adoption d'approches autosouveraines pour les dossiers des apprenants les résume comme suit :

- « Les apprenants décident des personnes qui peuvent accéder à leur(s) dossier(s), y compris de certains aspects de leur dossier, et à quel moment ces personnes sont autorisées à y accéder.
- L'authentification est sécurisée par cryptographie, le plus souvent sur des registres distribués, ce qui rend les justificatifs vérifiables et accessibles, quel que soit l'état de l'organisme émetteur au moment de la vérification.
- La vérification en ligne des apprenants et des émetteurs peut être sécurisée et rationalisée.
- Les justificatifs vérifiables peuvent prendre en charge la vérification de formations non traditionnelles et tiennent compte de différentes formes d'apprentissage dans divers contextes. » (T3 Innovation Network, 2020_[101]).

Les avantages de la vérification des titres et diplômes qui s'appuie à la fois sur la technologie blockchain et sur des normes ouvertes en font un élément précieux des projets de numérisation pour toute institution qui émet ou valide des documents officiels. Il s'agit là de la condition préalable à la création d'un écosystème mondial véritablement interopérable pour les titres et certificats numériques dans lequel n'importe qui peut échanger des dossiers académiques avec n'importe qui d'autre et les examiner et les vérifier instantanément sans crainte de fraude. En raison de leurs investissements massifs dans ces technologies, les prestataires de services éducatifs ont été parmi les premiers à mettre en œuvre des programmes de vérification de titres par blockchain. La section suivante passe en revue plusieurs exemples d'établissements d'enseignement qui se sont engagés dans cette voie.

Déploiement dans la vie réelle

Toute situation dans laquelle la fraude doit être évitée justifie l'utilisation potentielle de la blockchain. En effet, comme les sections précédentes l'ont expliqué, la blockchain est avant tout une infrastructure de vérification des informations. Pour cette raison, la blockchain est appelée à révolutionner toutes les « industries qui reposent sur la confiance », de la banque à l'assurance en passant par le maintien de l'ordre, les soins de santé et la gestion de la chaîne d'approvisionnement (McCauley, 2019_[129]). C'est toutefois le secteur de l'éducation qui a été à l'avant-garde de l'adoption de la technologie blockchain, car la vérification des titres universitaires continue d'être un besoin permanent et pressant (Grech et Camilleri, 2017_[130]).

Mais la vérification des qualifications est un besoin qui va bien au-delà du secteur de l'éducation ; les employeurs du monde entier ont un intérêt évident à recevoir des titres de compétences dans lesquels ils peuvent avoir le plus haut degré de confiance. Des institutions multilatérales comme la Banque interaméricaine de développement ont compris que la vérification du capital humain d'une manière efficace est l'un des moyens les plus faciles de créer la confiance dans une économie mondiale (Cabrol, 2018_[131]). Dans cette perspective, l'American Council on Education observe que « la blockchain, en particulier, est prometteuse pour la création de connexions plus efficaces et durables entre le secteur de l'éducation et le monde du travail. Elle peut fournir le tissu technologique permettant aux travailleurs déplacés de traduire leurs compétences en vue de nouvelles occasions d'éducation ou d'emploi, et peut avoir une valeur particulière pour ceux qui sont actuellement mal desservis par le paradigme éducation-emploi actuel. » (Lemoie et Souares, 2020_[44]). En particulier, l'évolution vers un modèle d'apprentissage tout au long de la vie et la mobilité toujours plus grande des apprenants et des travailleurs font des titres de compétences vérifiables une condition préalable à l'essor économique au XXI^e siècle. Le terme « écosystème » est fréquemment utilisé par les technologues de la blockchain, les employeurs et les établissements d'enseignement pour décrire l'état idéal de l'échange et de la vérification des titres de compétences.

La section qui suit présente plusieurs exemples de mises en œuvre réelles de la vérification de titres de compétences basée sur la blockchain, provenant de pays du monde entier. Il faut noter que tous les projets qui ont été mis au point à ce jour n'ont pas encore de véritables utilisateurs (ou clients, s'ils sont commerciaux). Certains de ces projets ont été annoncés, mais peu d'informations publiques sont disponibles sur leur mise en œuvre ou leur adoption. Cette liste doit être considérée comme un instantané du marché de la vérification des titres par blockchain dans les premières années de son développement, étant entendu que ce paysage continuera à évoluer rapidement.

États-Unis

On peut considérer que c'est au MIT que sont nées les normes techniques ouvertes pour les titres numériques vérifiables. En 2015, la division Learning Initiative du MIT Media Lab a commencé à travailler sur un projet visant à ancrer les titres universitaires dans la blockchain (MIT Media Lab, s.d._[132]). Peu après, la société Learning Machine (depuis 2020, Hyland Credentials) s'est associée à cette équipe pour mener à bien le projet (MIT Media Lab, s.d._[133]). En 2016, Blockcerts, la norme ouverte pour les justificatifs numériques, a été publiée sous une licence MIT Free and Open Source Software (FOSS) sur blockcerts.org (Blockcerts, s.d._[111]). En 2017, les bibliothèques de références Blockcerts ont permis à quiconque de créer ses propres applications logicielles pour émettre, stocker, partager et vérifier des justificatifs numériques sécurisés. La technologie des justificatifs vérifiables a été intentionnellement publiée en code source ouvert afin d'éviter l'enfermement propriétaire des fournisseurs et de créer un écosystème ouvert pour les applications de vérification. Blockcerts est également neutre par rapport aux blockchains, ce qui signifie qu'il prend en charge l'ancrage dans la plupart des types de réseaux de blockchains. Les implantations actuelles incluent Bitcoin, Ethereum (Learning Machine, 2018_[134]), et Hyperledger Fabric (Castro-Iragorri, 2018_[135]). En 2017, Learning Machine a lancé un système commercial de vérification de titres de compétences. En 2019, elle a annoncé qu'elle mettrait à jour Blockcerts pour qu'il devienne un justificatif vérifiable basé sur le W3C (Jagers, s.d._[136]).

Un certain nombre d'universités américaines et d'établissements, de la maternelle à la terminale, ont délivré des titres de compétences à l'aide de Blockcerts à leurs étudiants et diplômés (Hargrave et Karnoupakis, 2020_[137]). Il s'agit notamment du MIT (Durant, 2017_[138]), de la SNHU (Kelly, 2018_[139]), des écoles publiques de l'Union à Tulsa, en Oklahoma (Friedman, 2019_[140]), de l'Université ECPI (Southside Daily Staff, 2018_[141]), de l'Université Maryville (Learning Machine Company Newsroom, 2019_[142]) et du Central New Mexico Community College (Salas, 2018_[143]). En 2020, la première mise en œuvre à l'échelle d'un État de la vérification de titres de compétences par blockchain aux États-Unis a été lancée par le département de l'enseignement supérieur du Nouveau-Mexique (Hyland Newsroom, 2020_[144]).

En février 2020, un consortium d'institutions de recherche du monde entier a annoncé l'arrivée de bloxberg, un embranchement de Blockcerts conçu pour ancrer la preuve de la recherche scientifique dans un réseau blockchain privé (Bloxberg, 2020_[145]).

Une multitude de nouveaux projets voient également le jour. En février 2020, le Digital Credentials Consortium (DCC) a publié un livre blanc sur l'infrastructure d'authentification numérique de l'avenir, conforme au modèle Verifiable Credential du W3C et au règlement général sur la protection des données de l'UE (Digital Credentials Consortium, 2020_[146]). En 2018, le MIT et onze autres universités internationales d'Allemagne, du Canada, des États-Unis, d'Italie, du Mexique et des Pays-Bas ont fondé le Digital Credentials Consortium afin de développer une infrastructure permettant de délivrer, de partager, communiquer et de vérifier les justificatifs numériques des résultats universitaires dans l'enseignement supérieur. Un rapport publié par le Conseil américain de l'éducation et le Bureau des technologies éducatives du ministère américain de l'Éducation fournit un aperçu utile des initiatives de vérification de titres par blockchain aux États-Unis (Lemoie et Souares, 2020_[144]) :

- Workday Credentials est une plateforme de vérification de dossiers ancrés dans la blockchain utilisant la norme W3C Verifiable Credentials (Workday Credentials, s.d._[147]). Elle utilise la version privée d'une implantation de Hyperledger Fabric pour ancrer les dossiers (Ledger Insights, 2020_[148] ; Meetup, 2020_[149]).
- Pistis.io fournit des portefeuilles web et mobiles permettant aux destinataires de télécharger des documents et de les hacher dans une blockchain développée avec Hyperledger Fabric (Pistis.io, s.d._[150]).
- Greenlight fournit un réseau blockchain actuellement utilisé par cinq districts scolaires indépendants du nord du Texas pour échanger des dossiers scolaires et permettre aux élèves à faible revenu de soumettre leur

candidature dans plusieurs universités en même temps. Le réseau est une implantation privée de Hyperledger Fabric (Lemoie et Souares, 2020_[44]).

- Salesforce a lancé le Trusted Learner Network, un réseau blockchain privé fonctionnant avec Hyperledger Sawtooth.
- L'Université d'État de l'Arizona utilise actuellement le Trusted Learning Network de Salesforce pour envoyer les dossiers de cours validés aux établissements de deux ans d'où proviennent les étudiants (Lemoie et Souares, 2020_[44]).
- ODEM et BitDegree incluent également la vérification de titres de compétences parmi les fonctionnalités de leurs plateformes éducatives hébergées sur Ethereum.
- La Faculté d'Information de l'Université d'État de San Jose a introduit une demande de subvention pour utiliser un résolveur universel SSI afin de « permettre aux personnes possédant des titres numériques vérifiables d'avoir accès aux ressources de toutes les bibliothèques participantes. » (Lemoie et Souares, 2020_[44]).
- La Learning Economy Foundation participe à la mise en œuvre du Trusted Learner Network de l'Université d'État de l'Arizona (Arizona State University, s.d._[151]). Elle dirige également des projets de vérification par blockchain au Colorado (Learning Economy Foundation, s.d._[152]), au Dakota du Nord (le ND ILR Co-Lab) ((s.a.), s.d._[153]), en Floride (le Broward County OpenCLR Lab) (Learning Economy Foundation, s.d._[154]), et dans la région Asie-Pacifique (Asia-Pacific AP Lab) (Learning Economy Foundation, s.d._[155]).

Canada

Il semblerait que le gouvernement du Canada ait pris la tête au niveau international en termes d'applications de vérification autosouveraines. En 2018, le Bureau de l'identité numérique du Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada a publié « La vision de l'identité numérique digne de confiance du Canada », un court métrage présentant un avenir dans lequel les citoyens peuvent demander et gérer une variété de services et de prestations gouvernementaux en ligne en utilisant des formes d'authentification privées et sécurisées (Treasury Board of Canada Secretariat, 2018_[156]). La province de la Colombie-Britannique a été parmi les premières à mettre en œuvre un projet de validation numérique en direct à l'aide de SSI : l'OrgBook, qui utilise Hyperledger Indy pour gérer des justificatifs vérifiables pour plus d'un million d'entreprises actives dans la province (Lemoie et Souares, 2020_[44]).

En 2019, l'initiative Nuage de Talents du gouvernement du Canada a commencé à certifier les travailleurs du secteur public « agents libres » en utilisant Blockcerts (Benay, 2019_[76]; Talent Cloud | Nuage de talents, 2018_[157]). Nuage de talents est un marché de talents du secteur public qui réimagine un écosystème de reconnaissance des compétences et des titres de compétences pour la fonction publique du Canada (Government of Canada Talent Cloud, s.d._[158]; Greenspoon, 2018_[159]; World Government Summit et al., 2018_[160]). Les travailleurs du secteur public peuvent gérer leur profil dans le Nuage de Talents. Celui-ci comprend les qualifications et l'expérience validées, qui servent de preuve de compétence lorsqu'ils postulent tout emploi dans le secteur public.

L'Université McMaster à Hamilton, en Ontario, a également construit son propre système de délivrance de Blockcerts, qui est utilisé pour délivrer des diplômes numériques aux étudiants diplômés aujourd'hui (McMaster University Office of the Registrar, s.d._[116]).

Plus récemment, l'Association des registraires des universités et collèges du Canada (ARUCC) a annoncé un partenariat avec Digitary pour créer un réseau national de validation pour les établissements d'enseignement supérieur canadiens (Hamdani, 2020_[161]). Digitary s'est, à son tour, associé à Evernym pour mettre en œuvre une solution de validation basée sur la blockchain (Crace, 2019_[162]). Les solutions d'Evernym mettent en œuvre les titres de compétences vérifiables du W3C en s'appuyant sur les réseaux blockchain Sovrin et Hyperledger Indy.

Union européenne et Royaume-Uni

Au sein de l'Union européenne, Malte a été le pays le plus prompt dans l'application de la blockchain pour la délivrance et la validation de titres scolaires. Depuis 2017, Malte se fait appeler « l'île de la blockchain » en raison de la décision du Premier ministre Joseph Muscat de se lancer dans le « risque calculé » d'investir dans la technologie blockchain pour lutter contre la corruption, réduire la bureaucratie et diversifier le secteur technologique en plein essor du pays (Al Ali et van der Walt, 2018_[163]). En janvier 2017, le ministère de l'Éducation et de l'Emploi (MEDE)

de Malte a commencé à mettre en œuvre le premier projet pilote national au monde de délivrance de titres universitaires sur une blockchain (Sixtin, 2017^[164] ; Cocks, 2017^[165]). Depuis lors, la portée du projet s'est élargie pour inclure tous les établissements d'enseignement de Malte (Sansone, 2019^[166]).

En Espagne, le réseau blockchain Alastria a été conçu et construit par un consortium de plus de 500 entreprises, institutions gouvernementales et universités dans le but de faciliter les services numériques, y compris la certification de diplômes universitaires (Alastria, s.d.^[49]). SmartDegrees a également vu le jour, utilisant la blockchain Quorum basée sur Ethereum pour ancrer les titres de compétences numériques (SmartDegrees, s.d.^[167]). Vottun est une autre entreprise espagnole de certification par blockchain, qui utilise la blockchain publique Ethereum (Vottun, s.d.^[168]).

En Europe centrale, SAP a lancé sa plateforme de certification TrueRec en utilisant Ethereum ; ce projet a été mené avec l'aide de l'Université KU Leuven (Jonkers, 2018^[169]). La société slovène Oxcert a créé sa propre norme ouverte pour la tokenisation et le transfert de propriété des titres numériques ainsi que d'autres actifs numériques (Oxcert, s.d.^[170]).

Au Royaume-Uni, GradBase propose un système de certification par blockchain utilisant la blockchain Bitcoin (GradBase, s.d.^[171]). PwC UK a lancé « SmartCredentials », une plateforme de certification de titres de compétences construite sur une version fermée d'Ethereum (PwC UK, s.d.^[172]). L'initiative Open Blockchain de l'Open University (The Open University, s.d.^[173]) propose un certain nombre d'applications de certification par blockchain, principalement à l'aide d'Ethereum : les Open Badges et les Blockcerts ancrés dans la blockchain. Parmi ces applications, citons QualiChain (The Open University, s.d.^[174]), plateforme de mise en relation des employeurs et des demandeurs d'emploi, et PeerMiles (The Open University, s.d.^[174]), une initiative visant à reconnaître les dossiers professionnels des chercheurs. Il s'agit dans les deux cas de projets de recherche plutôt que d'applications logicielles commerciales.

Toutes ces initiatives devront tenir compte de la normalisation introduite non seulement par le W3C, l'IEEE et l'ISO, mais aussi par l'infrastructure européenne de services blockchain (EBSI), un ensemble de réseaux blockchain en cours de développement par la Commission européenne et l'European Blockchain Partnership, une coalition d'États membres de l'UE qui se consacre à la recherche en matière d'applications de la technologie blockchain dans le secteur public. L'EBSI est financée par la Connecting Europe Facility, qui est chargée de soutenir le mandat pour un marché unique numérique dans toute l'UE (CEF Digital, s.d.^[40]). L'EBSI doit servir d'infrastructure pour les services numériques transfrontaliers. En ce sens, sa portée est similaire à celle du réseau espagnol Alastria, mais avec un mandat paneuropéen. Un certain nombre de participants au projet Alastria coordonnent actuellement la mise en place de l'EBSI.

L'EBSI utilise actuellement Hyperledger Besu (une implémentation fermée du code de base Ethereum) et Hyperledger Fabric, mais son intention est de devenir neutre en matière de blockchain. La documentation technique de ce projet en code source ouvert est à la disposition du public (CEF Digital, s.d.^[175]). Les quatre utilisations initiales visées par l'EBSI sont les suivants :

1. La notarisation de documents à des fins d'audit ;
2. La certification de diplômes ;
3. Le cadre européen d'identité autosouveraine (ESSIF) ; et
4. Le partage de données de confiance (Allen, 2016^[100] ; CEF Digital, s.d.^[176]).

La version 1.0 de l'EBSI a été lancée en février 2020, et les futures versions devraient s'échelonner chaque année (Smolenski, s.d.^[177]). Des consultations de marché publiques ont été lancées dans le but de déterminer les futures subventions de développement destinées aux entreprises privées qui ont l'intention de créer des services sur le réseau.

L'EBSI est distinct du projet Europass, une autre initiative de certification numérique à l'échelle de l'UE. L'Europass est supervisé par la direction générale de l'éducation et de la culture de la Commission et vise à rendre les compétences portables et reconnaissables dans toute l'Europe. Depuis 2012, le portail web Europass permet aux individus de créer un portefeuille électronique de leurs titres universitaires et autres qualifications, leur « passeport européen de compétences ». Ces cinq documents standard ne sont pas ancrés dans une blockchain,

mais sont stockés au format XML et peuvent être signés numériquement par l'institution émettrice à l'aide de clés de signature fournies par des autorités officielles dans le cadre du règlement eIDAS pour l'identification et les signatures électroniques. Grâce à l'initiative européenne sur les compétences, les qualifications et les professions (ESCO), les détenteurs de profils Europass peuvent également être dirigés vers des offres d'emploi via la classification ESCO (European Commission, s.d._[178]).

En 2018, un ensemble d'exigences relatives aux documents Europass signés numériquement a été élaboré, en s'inspirant largement du cadre de confiance eIDAS. Cet ensemble d'exigences est désigné sous le nom d'infrastructure européenne des titres de compétences numériques (EDCI) (Everis (European Commission), s.d._[179]). Distincte de l'EBSI, l'EDCI n'utilise pas de blockchains pour la certification, à l'exception du statut accrédité des autorités de délivrance. Ces dernières doivent être ancrées dans une blockchain, qui sera vraisemblablement l'EBSI à terme. L'EDCI est en fait une norme ouverte pour l'émission, la réception, le stockage, le partage et la vérification de documents signés numériquement, un peu comme les blockchains et les Verifiable Credentials. Toutefois, comme l'EDCI n'a pas été élaborée en partenariat avec le W3C, elle diverge de la spécification Verifiable Credentials à plusieurs égards, notamment en exigeant l'utilisation de XML plutôt que de JSON. Ces divergences sont actuellement en cours de traitement au sein du groupe de la communauté des justificatifs vérifiables du W3C.

Moyen-Orient et Afrique du Nord

La région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord a montré un enthousiasme considérable pour la technologie blockchain, notamment depuis l'annonce de la « stratégie blockchain 2021 » des Émirats arabes unis en 2018 (The United Arab Emirates' Government portal, s.d._[180]). Cette initiative vise à transférer 50 % des transactions gouvernementales vers une blockchain d'ici 2021 et a été étroitement associée à l'initiative Smart Dubai 2021 (Smart Dubai 2021, s.d._[181]). Dans le cadre de sa stratégie en faveur de la blockchain, le gouvernement des Émirats arabes unis a parrainé de nombreux concours de création de start-up afin d'identifier les fournisseurs locaux susceptibles de fournir des services aux secteurs public et privé.

Educhain est un fournisseur situé aux Émirats arabes unis dans le domaine de la certification universitaire. Après avoir remporté le concours de création d'entreprise Techstars, Educhain a mis en œuvre plusieurs projets pilotes de certification par blockchain avec des établissements d'enseignement des Émirats arabes unis dans l'enseignement supérieur ainsi que de la maternelle à la terminale. Il s'agit notamment de l'Université des Émirats arabes unis (UAEU, 2019_[182]), de l'Université de Dubaï (EAU) (CNN, s.d._[183]), et de l'AMSI (AMSI, s.d._[184]).

En 2020, l'entreprise Shahada a été mise sur pied (Smartworld, 2020_[185]). Elle commercialise une plateforme SaaS, également appelée Shahada, pour créer et délivrer des justificatifs numériques ancrés dans la blockchain. Son site web indique que « Shahada s'appuie sur les normes ouvertes développées par le MIT » (Shahada, s.d._[186]). Shahada est une coentreprise entre Smartworld, un important intégrateur de systèmes des Émirats arabes unis, et Grape Technology, une start-up basée aux Émirats arabes unis et spécialisée dans la technologie blockchain (Shahada, s.d._[186]). L'entreprise a réussi à délivrer des titres de compétences ancrés dans la blockchain pour le compte de l'Université de Dubaï (Zawya, 2020_[187]). Elle a également intégré sa plateforme à UAE Pass, qui assure la vérification de l'identité des bénéficiaires pour les services gouvernementaux et commerciaux dans tout le pays (Smartworld, 2020_[185]).

En Égypte, la Zewail City of Science and Technology a signé un protocole d'accord avec la start-up Intelli Coders pour construire « BlockCred », (Abdou, 2019_[188]), un système de certification blockchain pour les programmes d'éducation et de formation professionnelle de la ville de Zewail (BlockCred, s.d._[189]). BlockCred est une DApp construite sur la plateforme blockchain Blockstack.

La première université du Moyen-Orient à délivrer des titres universitaires ancrés dans la blockchain a été l'Université des sciences et technologies King Abdullah (KAUST) en Arabie saoudite (Company Newsroom of Learning Machine, 2018_[190]). En 2018, elle a fait appel à Learning Machine (désormais Hyland Credentials) pour délivrer ses premiers diplômes numériques conformes à la blockchain. L'Université de Bahreïn lui a rapidement emboîté le pas (Global Blockchain Business Council, s.d._[191]). Depuis novembre 2020, les deux universités poursuivent leurs initiatives en matière de délivrance de titres numériques.

Amérique latine et les Caraïbes

Un nombre croissant d'initiatives de délivrance de titres de compétences par blockchain ont vu le jour en Amérique latine au cours des dernières années. Les projets en cours de mise en œuvre ont généralement employé la norme ouverte Blockcerts pour la délivrance de titres de compétences numériques. Il s'agit notamment de la délivrance de diplômes numériques par Tecnológico de Monterrey, la première université de recherche technologique du Mexique (Longino Torres, 2019_[192]). L'Universidad Autónoma de Nuevo León a mis en œuvre un projet de délivrance de titres de compétences Blockcerts en partenariat avec Learning Machine via un partenaire local, SYSARTEC (SYSARTEC, 2020_[193]). Le ministère du Travail des Bahamas et le Caribbean Examinations Council ont également fourni des pilotes Blockcerts pour la formation de la main-d'œuvre, les certificats de fin d'études et les résultats d'examen (Munro, 2018_[194] ; Jamaica Observer, 2019_[195]).

Un autre fournisseur de solutions proposant un système de certification Blockcerts dans la région est Xertify, une entreprise de certification numérique située en Colombie (Xertify, s.d._[196]). La Dirección Estatal de Profesiones de l'État de Querétaro au Mexique utilise Xertify pour délivrer une Cédula Profesional (licence professionnelle) numérique à de nombreux types de praticiens (La Fuente Querétaro, 2020_[197] ; @profesionessqro, 2020_[198]). Xertify travaille également avec des universités de la région, notamment l'Universidad ECCI (@xertifyco, 18 June 2020_[199]) et l'Universidad Quindío (@xertifyco, 12 June 2020_[200]) pour délivrer des diplômes numériques.

Prince Consulting, une société de services logiciels située en Argentine, a également mis en œuvre des projets de délivrance de titres de compétences Blockcerts pour des établissements d'enseignement par l'intermédiaire de sa filiale OSCity (Prince Consulting, s.d._[201]).

Un important projet régional, parrainé par la Banque interaméricaine de développement, s'inspire d'Alastria : LACChain. Sous la houlette d'un consortium d'organisations publiques et privées, le projet vise à construire une blockchain pour la prestation de services commerciaux et publics dans la région (ConsenSys, 2020_[50]).

Asie et Pacifique

À Singapour, la délivrance de titres de compétences par blockchain a connu un rapide engouement. Quelques start-ups éminentes ont créé des plateformes de délivrance de titres de compétences ancrées dans le réseau Ethereum : Attores, une entreprise de développement de blockchain propose des « contrats intelligents en tant que service », et Indorse, une plateforme réputée a été conçue pour mettre en relation les candidats et les offres d'emploi. En 2017, Attores a testé des diplômes en blockchain avec l'Université technique de Ngee Ann (McSpadden, 2017_[202]). Depuis leur lancement initial, Attores et Indorse ont fusionné, préservant la marque Indorse. Celle-ci propose désormais un outil de développement professionnel pour les ingénieurs logiciels (Indorse, s.d._[203]). Dans le même laps de temps, le gouvernement de Singapour a développé OpenCerts, une norme ouverte pour la délivrance de titres de compétences numériques ancrés dans la blockchain, construite en embranchant et en modifiant le code de base Blockcerts (OpenCerts, s.d._[118]). Il a depuis fortement encouragé les universités à utiliser OpenCerts en établissant des partenariats avec des entreprises locales de développement de logiciels qui peuvent construire des applications de délivrance de titres en utilisant les bibliothèques de référence en code source ouvert d'OpenCerts (OpenCerts, s.d._[77]).

En 2018, le ministère de l'Éducation de Malaisie a annoncé un projet de délivrance de titres universitaires sur la blockchain NEM, mis au point par le Conseil des doyens des TIC des universités malaisiennes (Asia Blockchain Review, 2018_[204]).

En 2019, Pallavan Learning Systems (PLS) est devenu la première institution de la maternelle à la terminale en Inde - et potentiellement dans le monde - à délivrer des Blockcerts à ses élèves. La Pallavan School de Jhalawar, au Rajasthan, et la Vasant Valley School de New Delhi ont délivré plusieurs types de justificatifs : certificats de fin d'études, certificats de connaissances linguistiques, certificats de bonne conduite, lettres de recommandation et fiches de notation dans cinq domaines de développement (Company Newsroom of Learning Machine, 2020_[205]).

En 2019, l'Université des sciences et de la technologie de Hong Kong (HKUST) a commencé à délivrer des certificats de réussite sous forme de Blockcerts en utilisant un système qu'elle a construit en interne (HKUST Academic Registry, s.d._[206]). L'Université en question continue de faire évoluer le système pour délivrer des diplômes et des relevés de notes.

Promouvoir le changement

L'adoption de nouvelles technologies présente inmanquablement des opportunités et des défis pour les institutions qui cherchent à adapter les pratiques et les flux de travail actuels. Ces défis se répartissent en deux catégories : les défis idéologiques et logistiques.

Les défis au niveau des idées comprennent :

1. La nécessité de penser autrement.
2. L'acceptation de nouveaux compromis : les nouvelles idées présentent des avantages et des inconvénients par rapport au passé.
3. La difficulté à imaginer à quoi ressemblera le changement.
4. Le changement au niveau des rôles et des responsabilités dans lesquels les gens peuvent se sentir à l'aise.
5. La difficulté à imaginer à quoi ressemblera le succès.
6. La distinction à établir entre les moyens utilisés et les finalités poursuivies. On peut mieux arriver à ces fins (c'est-à-dire la sécurité, la responsabilisation, la confiance, l'atténuation des risques) en utilisant des moyens différents de ceux employés aujourd'hui.

Les défis logistiques comprennent :

1. Comment mettre en œuvre une nouvelle technologie et les processus qui y sont associés ?
2. Qu'advient-il de nos investissements dans les technologies existantes ?
3. Quel en sera le coût ?
4. Qui sera là pour nous guider et nous accompagner dans les changements à venir ?
5. Comment pouvons-nous utiliser nos ressources internes le plus efficacement possible ?
6. Pourrons-nous faire marche arrière et revenir aux anciennes méthodes si les changements ne fonctionnent pas comme prévu ?
7. Existe-t-il des pièges ou des trucs cachés dont nous ne sommes pas conscients ?

Ces défis peuvent être relevés par un leadership éclairé au sein des organisations, qui encadre les équipes chargées de la mise en œuvre des nouvelles technologies et les aide à comprendre à la fois le pourquoi (les idées) et le comment (la logistique) du changement. Autrement dit, il faut promouvoir le changement à la fois de manière enthousiaste par rapport aux avantages et de manière réaliste par rapport aux efforts à mettre en place pour que l'aventure soit un succès.

Dans le cadre de la transition vers des titres de compétences vérifiables, deux grands groupes de parties prenantes ont une influence considérable sur la manière dont le changement s'opère : les décideurs politiques et les établissements d'enseignement. La section qui suit présente quelques suggestions sur la manière dont ces groupes peuvent aborder la transformation technologique.

Que peuvent faire les décideurs politiques ?

Nombreux sont ceux qui se tournent vers les décideurs politiques pour savoir si ce qu'ils font est conforme aux valeurs et aux lois de leur communauté ; on les sollicite également souvent pour des conseils normatifs : que devrait-on faire ? De par leurs fonctions, ils devraient se concentrer sur les objectifs qu'ils ont en tête pour les citoyens et se demander si une nouvelle technologie peut contribuer à atteindre ces objectifs.

Dans le cas des titres de compétences vérifiables, les avantages sont assez clairs : ils augmentent la confiance de tous, accélèrent les transactions économiques, simplifient le processus de candidature aux écoles et aux emplois, facilitent la mobilité transfrontalière et responsabilisent les titulaires de diplômes en leur procurant des documents vérifiables portant sur l'apprentissage tout au long de la vie. Dans le domaine de l'éducation, il semble évident que la mise en œuvre de solutions de certification basées sur la blockchain profite aux établissements d'enseignement, aux étudiants, aux employeurs et, par conséquent, à tout le tissu économique.

Quand on examine les lois et politiques en vigueur, il est bon de se demander si une réglementation destinée à atteindre un objectif particulier (par exemple, valider qu'un titre a été délivré par l'autorité compétente) ne dépend pas en fait d'une mise en œuvre technique trop pointue. Une législation qui impose des mises en œuvre techniques

particulières peut finir par étouffer l'innovation, car la technologie évolue à un rythme rapide qu'il est souvent impossible d'anticiper. En règle générale, une politique efficace fournit *un cadre de référence* pour déterminer la solution à un problème, plutôt que d'être trop prescriptive quant à la solution elle-même. Cette approche permet aux individus de faire preuve d'ingéniosité tout en fixant des lignes directrices claires par rapport à ce qui est légalement acceptable.

De par leurs fonctions politiques, les décideurs peuvent également déterminer comment les fonds sont alloués aux projets basés sur les nouvelles technologies. Il peut s'agir de dépenses pour des initiatives de R-D, d'un fonds d'investissement public fournissant des capitaux aux jeunes entreprises/start-ups, d'un investissement dans l'éducation et la formation au sein des communautés délaissées ou d'un soutien à des projets pilotes basés sur les nouvelles technologies ou à la mise en œuvre de programmes déjà au point.

Certains gouvernements peuvent choisir de financer la mise en place de leurs propres réseaux blockchain ou de leurs propres normes technologiques. Toutefois, il faut garder à l'esprit que la valeur des titres numériques vérifiables se fonde sur deux éléments importants : 1) la portabilité internationale et 2) l'indépendance de la plateforme. Toute infrastructure technologique, qu'elle soit élaborée par le secteur public ou le secteur privé, qui crée un enfermement propriétaire ou limite l'utilité au-delà des frontières, créera des difficultés d'adoption et d'évolutivité. Elle engendrera également des tracasseries bureaucratiques supplémentaires, ce qui va à l'encontre des avantages potentiels des titres de compétences vérifiables. En conséquence de quoi, les projets technologiques menés par les gouvernements devraient suivre de près les travaux des organismes de normalisation mondiaux tels que le W3C, l'IEEE, l'ISO et d'autres, afin de garantir que ce qui est développé à destination de leurs citoyens soit utilisable au niveau international et sur toutes les plateformes logicielles.

Il faut également investir dans le temps et les efforts à déployer. Les décideurs politiques qui prennent le temps de comprendre les motivations et les préoccupations des technologues qui travaillent sur de nouvelles solutions peuvent contribuer grandement à accélérer le rythme de l'innovation à l'échelle locale. Grâce à cette attitude constructive, les responsables politiques ouvrent également la porte aux technologues afin que ceux-ci comprennent également les préoccupations et les idées des premiers. Lorsque les décideurs et les technologues se regardent en chiens de faïence, la coopération stagne et la méfiance peut polariser toute une société. Le temps passé à construire quelque chose ensemble, par-delà les différences d'opinion et de métier, est sans aucun doute du temps bien employé.

Que peuvent faire les établissements d'enseignement ?

Lorsqu'on aborde l'utilisation des titres vérifiables ancrés dans la blockchain, l'une des premières choses que les établissements d'enseignement peuvent faire est de reconnaître que le paysage technologique est en train de changer. L'économie du XXI^e siècle aura besoin de justificatifs numériques portables et vérifiables, et les étudiants les demanderont de plus en plus aux établissements qu'ils fréquentent. La pandémie de COVID-19, en particulier, a mis en évidence la nécessité pour les établissements de délivrer des documents portables et sécurisés qui peuvent être reçus, partagés et vérifiés à distance en toute sécurité. L'utilisation de la technologie blockchain ne fait peut-être pas partie des priorités des établissements d'enseignement, mais il est possible de s'informer sur les solutions disponibles et de réfléchir aux meilleures pratiques de mise en œuvre dès aujourd'hui.

Quant à la question de savoir comment mettre en œuvre la technologie, il existe de nombreuses approches. Plusieurs solutions s'offrent aux établissements pour délivrer et vérifier les titres de compétences basés sur la blockchain. Ceux qui optent pour des solutions basées sur des normes ouvertes, comme W3C Verifiable Credentials et Blockcerts, ont deux possibilités : soit ils créent leurs propres applications pour la délivrance de titres en utilisant les bibliothèques de référence en code source ouvert, soit ils prennent une licence pour un produit ou un service fourni par une société privée et délivrent des enregistrements conformes aux normes. Ceux qui choisissent des solutions qui ne s'appuient pas sur des normes limitent leurs options aux services fournis par les prestataires privés ou à des solutions idiosyncrasiques construites et gérées en interne. Notons que ces solutions peuvent rencontrer à terme des problèmes de portabilité des données et d'interopérabilité.

Quelle que soit la voie qu'elle choisisse, toute institution qui envisage de délivrer ses documents officiels à l'aide de la blockchain peut s'inspirer des brèves recommandations suivantes.

1. *Identifiez les possibilités d'utilisation.* La blockchain est la structure de vérification la plus sûre disponible pour les titres de compétences ; elle est donc la mieux adaptée aux documents qui doivent être vérifiés avec un haut degré de fiabilité. Dans le domaine de l'éducation, ces documents comprennent, entre autres, les diplômes et les titres de compétences, les relevés de notes, les certificats de fin d'études, les dossiers complets des apprenants, les identifiants des étudiants et les résultats des examens. Pour les professionnels de l'éducation, les brevets ou accréditations d'enseignement ou les certificats de formation professionnelle continue sont des points de départ prometteurs. La blockchain est moins utile pour les titres de compétences plus éphémères qui ne nécessitent qu'une validation temporaire. Toutefois, ces derniers peuvent venir « s'empiler » sur des titres de niveau supérieur ancrés dans une blockchain.
2. *Inscrivez vos initiatives dans une perspective d'avenir en vous engageant dans des normes ouvertes.* De nombreux fournisseurs dans le secteur de la blockchain ont créé des solutions personnalisées dans lesquelles les titres ne s'affichent et ne se vérifient que dans leur système logiciel ou leur réseau de blockchain. L'accès, le partage et la vérification des informations d'identification sont donc liés à ce fournisseur en particulier. Plutôt que de rendre l'utilisation des documents officiels de votre organisation dépendante d'un fournisseur de logiciels et de courir le risque de devoir « refaire » une mise en œuvre de certification numérique si vous changez de service, choisissez des architectures ouvertes pour inscrire votre solution de certification dans la durée. Insistez sur l'utilisation de normes ouvertes (Blockcerts, justificatifs vérifiables) et de blockchains qui sont soit publiques (comme Bitcoin ou Ethereum), soit fermées et privées, gérées par des institutions ayant un mandat public, comme les gouvernements ou des consortiums d'organisations bien établies (p. ex., l'EBSI). Cela augmente la probabilité que ces organisations disposent des ressources et de la stabilité nécessaires pour gérer à terme un réseau de blockchain privé ou fermé qui coûte cher.

Si vous choisissez de passer un contrat avec un prestataire pour qu'il vous fournisse une solution de vérification blockchain plutôt que d'en développer une vous-même, vous trouverez ci-dessous une série de recommandations utiles.

1. *Choisissez un fournisseur de logiciels expérimenté dans la fourniture de solutions de certification basées sur des normes ouvertes.* Le marché des titres de compétences numériques est en pleine croissance, et de plus en plus de fournisseurs proposent aujourd'hui des solutions. Certains d'entre eux s'engagent à utiliser des normes ouvertes, et un plus petit nombre a de l'expérience dans la mise en œuvre de projets de certification numérique. Un fournisseur expérimenté devrait être en mesure de présenter des études de cas dans lesquelles son logiciel a été utilisé pour mener à bien un projet de délivrance de titres numériques à enjeu élevé. Il devrait ensuite pouvoir expliquer comment son processus pourrait être adapté aux besoins de votre établissement.
2. *Sélectionnez un fournisseur qui vous aidera à mettre au point et à exécuter un plan de mise en œuvre.* La délivrance de titres de compétences via la technologie blockchain est un domaine relativement nouveau. Dans cette perspective, ne perdez pas de vue que la gestion du changement sera un élément important dans le plan de mise en œuvre. Demandez aux fournisseurs potentiels d'évoquer leur processus d'intégration et de mise en œuvre. Demandez également comment ils vous aideront à introduire cette nouvelle initiative de certification parallèlement à vos pratiques de certification actuelles. Comment allez-vous définir les objectifs ? Comment allez-vous évaluer la réussite de votre projet ? Un partenaire solide doit être en mesure de vous aider à répondre à ces questions.
3. *Prévoyez un budget pour votre projet de certification par blockchain.* La certification par blockchain est un domaine passionnant qui s'appuie sur une nouvelle technologie de pointe pour offrir une facilité d'utilisation et une fiabilité inégalées en matière de dossiers numériques. Il s'agit toutefois d'une technologie avancée, et non d'un produit de base. Votre institution doit être prête à réserver un budget annuel pour couvrir les coûts de l'initiative ; de la même manière que vous prévoyez un budget pour la délivrance de documents électroniques sur format papier ou PDF. À terme, vous pourrez mettre en veilleuse les anciennes méthodes de délivrance de titres et potentiellement réaliser des économies en passant entièrement à un modèle de titres numériques vérifiables. Le retour financier sur investissement variera en fonction des pratiques actuelles de votre institution en matière de certification de titres et diplômes, de la sélection de votre fournisseur de titres par blockchain et du modèle de mise en œuvre. Vous pouvez demander aux candidats

fournisseurs une analyse du retour sur investissement avant de choisir votre ou vos fournisseurs, mais sachez que vous devrez pour cela révéler les coûts actuels (en temps, en personnel et en argent) de vos pratiques actuelles de certification.

Bien qu'il y ait toujours un coût associé à l'adoption de nouvelles technologies, il est temps pour les établissements d'enseignement de commencer la transition vers des titres vérifiables ancrés dans la blockchain. Non seulement la prolifération de la fraude universitaire et professionnelle doit être fermement éradiquée, mais la croissance continue de la mobilité mondiale des apprenants et des travailleurs, ainsi que les déplacements massifs dus aux conflits, aux catastrophes naturelles (y compris le changement climatique) et, plus récemment, à la pandémie, font des titres vérifiables une condition préalable essentielle non seulement pour rationaliser le mouvement des apprenants entre les établissements d'enseignement et des diplômés vers l'emploi, mais aussi pour préserver la sécurité publique alors que les gens vivent et travaillent dans des régions très variées (Jagers, s.d._[207]). Les établissements d'enseignement ayant été contraints de déplacer leurs opérations en ligne et de s'internationaliser de manière inédite en raison de la pandémie de COVID-19, le passage à des justificatifs numériques vérifiables fait désormais partie intégrante de la stratégie globale de numérisation de tout établissement.

Conclusion

Le paysage mondial de l'éducation est en train d'évoluer rapidement. D'ici à 2030, plus de 7 millions d'étudiants devraient se rendre à l'étranger pour faire des études supérieures (Holon IQ, 2018_[208]). La croissance rapide des économies en développement en Asie et en Afrique devrait mettre sur le marché mondial plus de 350 millions de diplômés de l'enseignement postsecondaire et 800 millions de diplômés de l'enseignement secondaire (Holon IQ, 2018_[209]). La capacité d'enseignement dans le monde est déjà mise à rude épreuve, mais plus de 100 millions de nouveaux enseignants seront nécessaires pour répondre aux besoins prévus (Holon IQ, 2018_[209]).

Cela représente une opportunité majeure pour les nouvelles technologies, y compris l'intelligence artificielle, l'automatisation des processus, les marchés numériques de l'éducation et la blockchain, dans le but de faire évoluer l'infrastructure éducative mondiale. Le rôle vital de la technologie pour répondre aux besoins de cette génération d'étudiants devrait faire exploser le marché mondial des technologies de l'éducation à 10 000 milliards USD d'ici 2030 (Holon IQ, 2018_[209]). Dans toutes les économies, la nécessité de nouvelles compétences et qualification axées sur la technologie est vivement ressentie.

La pandémie de COVID-19 a quelque peu ralenti les inscriptions dans l'enseignement supérieur, mais pas de manière uniforme ni permanente (Hess, 2020_[210] ; Miller, 2020_[211]). Ce ralentissement est une conséquence d'un mode d'enseignement de type encore fort traditionnel. Aussi précieux que soit ce modèle, il éprouve des difficultés à répondre à une pandémie de maladie transmissible et à adapter son mode de fonctionnement à un enseignement virtuel. En outre, de nombreux établissements d'enseignement supérieur de type traditionnel sont déficitaires et dépendent des dons et des subventions pour parvenir à l'équilibre financier. Nombre d'entre eux étaient déjà en situation financière précaire avant que le COVID-19 ne frappe, et la pandémie a accéléré l'insolvabilité de certains (Thys, 2020_[212]).

Cependant, à mesure que les institutions s'adaptent, nous verrons probablement les inscriptions augmenter en raison de la croissance démographique prévue. Les établissements d'enseignement s'appuieront de plus en plus sur des technologies permettant de gagner du temps et de réduire les coûts pour rationaliser les opérations administratives, fournir des contenus éducatifs, effectuer des évaluations, délivrer des diplômes aux étudiants et les informer des offres d'emploi.

Quelles sont les implications pour la certification des titres de compétences ? Les compétences les plus facilement sanctionnées par des titres et des diplômes - et les titres les plus précieux sur le marché du travail - continueront probablement d'être associées aux compétences techniques, ou aux compétences qui peuvent être le plus facilement quantifiées et testées (Trilling et Fadel, 2009_[213]). Les emplois et les professions nécessitant des titres de compétences resteront très probablement dans les domaines techniques et analytiques. Cela ne signifie pas, bien sûr, que les compétences non techniques ne sont pas essentielles à la réussite professionnelle (Beheshti, 2020_[214]), mais seulement qu'elles sont moins faciles à quantifier, à tester et à certifier. Malgré la tendance visant à certifier un éventail plus large d'expériences d'apprentissage (Parrish, Fryer et Parks, 2017_[215]), de compétences et d'aptitudes (Reed, 2016_[216]), les employeurs continueront vraisemblablement à s'appuyer sur des recommandations

personnelles, des attestations d'anciens employeurs et la réputation pour évaluer les compétences non techniques des candidats potentiels.

Néanmoins, lorsque des justificatifs sont requis ou souhaités, la possibilité de les communiquer, de les recevoir et de les vérifier instantanément dans un format numérique portable et interopérable deviendra rapidement une nécessité incontournable. La blockchain est une technologie idéale pour ce faire, puisqu'elle agit comme une infrastructure de vérification numérique distribuée qui traite les enregistrements et les éléments mis en avant par les individus. Face à la volonté croissante des technologues et des décideurs de rendre aux utilisateurs le contrôle de leurs données personnelles, un mouvement international de normalisation a vu le jour pour garantir que les informations d'identification liées à la blockchain sont émises, stockées, partagées et vérifiées d'une manière qui protège la vie privée des utilisateurs et qui est indépendante de toute infrastructure d'un prestataire externe.

Le présent document a décrit la manière dont ces normes technologiques internationales pour les titres de compétences vérifiables sont appliquées dans la sphère de l'éducation. Dans la mesure où ce domaine évolue rapidement, l'environnement commercial évoqué ici sera probablement très différent dans quelques mois. En revanche, les normes décrites ici resteront probablement le tissu essentiel d'un écosystème mondial d'échange de titres de compétences qui se développe à pas de géant. Les établissements qui souhaitent mettre en œuvre un programme de vérification des titres de compétences devraient s'inspirer de ces normes pour s'assurer que leurs projets protègent la vie privée, responsabilisent les utilisateurs et garantissent la mobilité des titres de compétences pour tous.

L'adoption précoce de titres vérifiables par certains établissements a placé le secteur de l'éducation à l'avant-garde de l'une des innovations technologiques les plus importantes depuis l'avènement d'Internet : une nouvelle « couche de confiance » concernant les assertions qui peut être largement utilisée dans de nombreux secteurs et cas de figure différents. Tout comme la technologie blockchain ressemble à la version distribuée et infalsifiable d'un registre comptable, les normes relatives aux titres de compétences vérifiables sont des mécanismes permettant de détecter les falsifications et de valider la provenance et le destinataire d'un titre de compétence de manière décentralisée. Cette technologie connaîtra probablement une diffusion fulgurante dans les années à venir, les établissements cherchant à prévenir la fraude, à rationaliser le traitement et la vérification des demandes et à rendre aux utilisateurs finaux le contrôle de leurs données personnelles. Le résultat final est un écosystème qui permet aux individus de conserver leur dossier tout au long de la vie et de changer d'établissement de manière transparente, de voyager d'un pays à un autre pour y vivre, travailler et étudier.

Le monde de l'apprentissage et du travail devenant de plus en plus mobile et interconnecté, les gens ont besoin d'un niveau de confiance numérique plus élevé pour vivre, apprendre et faire des affaires ensemble. Favoriser cette confiance, c'est la perspective de la technologie blockchain et c'est là que réside toute sa valeur.

Annexe 11.A

Glossaire technique

Blockchain (chaîne de blocs) : Un type de registre distribué qui enregistre une base de données immuable de transactions. À l'origine, les blockchains avaient pour but de tenir un registre des propriétaires de devises numériques, empêchant ainsi la reproduction et la falsification des actifs numériques. La même technologie peut servir à vérifier l'intégrité et la propriété de tout actif numérique, y compris les titres et diplômes universitaires.

Cryptographie : « Écriture secrète ». Une façon de protéger les informations en utilisant des codes afin que seuls les destinataires prévus puissent lire les messages ou utiliser les informations.

Identifiant décentralisé : Un identifiant unique au niveau mondial qui ne nécessite pas l'intervention d'une autorité d'enregistrement centralisée puisqu'il est enregistré grâce à la technologie du registre distribué ou une autre forme de réseau décentralisé.

Technologie des registres distribués (DLT en anglais) : Une base de données qui est partagée et synchronisée de manière consensuelle entre plusieurs sites. Chaque site du réseau DLT gère une partie de son infrastructure et peut écrire ou accéder aux entrées partagées sur ce réseau en fonction des autorisations octroyées. Tout changement ou ajout apporté au registre est reproduit sur tous les sites. Une blockchain est un type de registre distribué, généralement assorti d'une cryptomonnaie.

Identité autosouveraine : Un ensemble de normes techniques et de principes promulgués par la communauté d'utilisateurs qui cherchent à faciliter l'évolution vers un contrôle plus individuel des identités numériques et des données personnelles.¹

Justificatif vérifiable (VC en anglais) : Un justificatif numérique qui est inviolable et dont la provenance (l'auteur) peut être vérifiée par cryptographie.

Remarque

1. T3 Innovation Network. « Applying Self-Sovereign Identity Principles to Interoperable Learning Records: Principes, Les difficultés, and Community Guidance. » *US Chamber of Commerce Foundation*. June 2020. p. 2; <https://www.uschamberfoundation.org/sites/default/files/media-uploads/Applying%20SSI%20Principles%20to%20ILRs%20Report.pdf>

Références

- (s.a.) (s.d.), *ND Integrated Learner Record: Phase II Project Charter*, [153]
<https://docs.google.com/document/d/1hiKCNepcPqkCDHy7yFT9x613RWjK7Mjk/edit> (consulté le 5 février 2021).
- @profesionessqro** (2020), *Twitter*, <https://twitter.com/profesionessqro/status/1256225566631567360>. [198]
- @xertifyco** (le 12 juin 2020), *Twitter*, <https://twitter.com/xertifyco/status/1271571738044792832>. [200]
- @xertifyco** (le 18 juin 2020), *Twitter*, <https://twitter.com/xertifyco/status/1273813449311760390>. [199]
- Oxcert** (s.d.), *Blockchain API gateway*, <https://0xcert.org/> (consulté le 16 novembre 2020). [170]
- Abdou, M.** (2019), *MOU between Zewail City and Intelli Coders, LLC to use blockcred.io for academic credentials issuing*, Medium, <https://medium.com/blockcred/mou-between-zewail-city-and-intelli-coders-llc-to-use-blockcred-io-a3124baf6143> (consulté le 26 juin 2020). [188]
- Accredited Online Colleges** (s.d.), *Fake Schools, Fake Degrees: Avoiding Diploma Mills*, [119]
<https://www.accredited-online-college.org/avoiding-diploma-mills/> (consulté le 16 novembre 2020).
- Al Ali, N. et E. van der Walt** (2018), *Blockchain Island Dream Is 'Calculated Risk' Says Malta Leader*, Bloomberg, [163]
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-09-10/blockchain-island-dream-is-calculated-risk-says-malta-leader> (consulté le 16 novembre 2020).
- Alastria** (s.d.), *Alastria*, <https://alastria.io/en/la-red/> (consulté le 13 novembre 2020). [49]
- Alden, L.** (2021), *A Century of Fiscal and Monetary Policy: Inflation vs Deflation*, LynAlden.com., [15]
<https://www.lynallden.com/fiscal-and-monetary-policy/>.
- Ali, A.** (2021), *Bitcoin is the Fastest Asset to Reach a \$1 Trillion Market Cap*, Visual Capitalist, [19]
<https://www.visualcapitalist.com/bitcoin-is-the-fastest-asset-to-reach-a-1-trillion-market-cap/>.
- Allen, C.** (2016), *The Path to Self-Sovereign Identity*, *Life with Alacrity*, [100]
<http://www.lifewithalacrity.com/2016/04/the-path-to-self-sovereign-identity.html> (consulté le 17 novembre 2020).
- Alliance, B.** (s.d.), *Badge Alliance*, <https://www.badgealliance.org> (consulté le 28 juin 2020). [85]
- Amazon** (s.d.), *Blockchain on AWS*, <https://aws.amazon.com/blockchain/> (consulté le 13 novembre 2020). [45]
- American Chemical Society** (2019), *Estimating the environmental impact of Bitcoin mining*, Science Daily, [11]
<https://www.sciencedaily.com/releases/2019/11/191120080246.htm>.
- AMSI** (s.d.), *Our Schools | First in the World to Implement Blockchain-based Digital Academic Credentials for Students*, [184]
<https://amsi.ae/amsi-news/183-our-schools-first-in-the-world-to-implement-blockchain-based-digital-academic-credentials-for-students> (consulté le 17 novembre 2020).
- Arizona State University** (s.d.), *Trusted Learner Network*, <https://trust.asu.edu/> (consulté le 16 novembre 2020). [151]
- Ark Invest** (2021), *SolarBatteryBitcoin.*, Github, <https://github.com/ARKInvest/SolarBatteryBitcoin> [12]
(consulté le 4 mai 2021).
- Asia Blockchain Review** (2018), *Malaysian Ministry of Education Applies Blockchain Technology as a Certificate Verification against Degree Fraud*, [204]
<https://www.asiablockchainreview.com/malaysian-ministry-of-education-apply-blockchain-technology-as-a-certificate-verification-against-degree-fraud/> (consulté le 17 novembre 2020).
- Baydakova, A.** (2019), *Bitcoin Mining Farms Are Flourishing on the Ruins of Soviet Industry in Siberia*, CoinDesk, [7]
<https://www.coindesk.com/bitcoin-mining-farms-are-flourishing-on-the-ruins-of-soviet-industry-in-siberia> (consulté le 17 novembre 2020).
- Beheshti, N.** (2020), *5 Of The Most In-Demand Soft Skills Companies Are Looking For This Year*, Forbes, [214]
<https://www.forbes.com/sites/nazbeheshti/2020/01/28/5-of-the-most-in-demand-soft-skills-companies-are-looking-for-this-year/?sh=5393bb2e56c7> (consulté le 17 novembre 2020).
- Benay, A.** (2019), *Securing the future of talent mobility in the Government of Canada*, [76]
<https://tbs-blog.canada.ca/en/securing-future-talent-mobility-government-canada> (consulté le 13 novembre 2020).

- Bernard, Z.** (2018), *Everything you need to know about Bitcoin, its mysterious origins, and the many alleged identities of its creator*, Business Insider, [28]
<https://www.businessinsider.com/bitcoin-history-cryptocurrency-satoshi-nakamoto-2017-12?IR=T>
 (consulté le 17 novembre 2020).
- Bhatia, N.** (2021), *Layered Money: From Gold and Dollars to Bitcoin and Central Bank Digital Currencies.*, Nikhil Bhatia. [14]
- Binance Academy** (n.d.), *Byzantine Fault Tolerance Explained*, Binance Academy, [4]
<https://academy.binance.com/blockchain/byzantine-fault-tolerance-explained> (consulté le 25 June 2020).
- BitDegree** (2017), *Revolutionizing Global Education with Blockchain - White Paper*, [107]
<https://www.bitdegree.org/bitdegree-vision.pdf> (consulté le 17 novembre 2020).
- Blockcerts** (s.d.), *Blockcerts*, <https://www.blockcerts.org> (consulté le 16 novembre 2020). [111]
- BlockCred** (s.d.), *BlockCred*, <https://www.blockcred.io/> (consulté le 17 novembre 2020). [189]
- Bloxxberg** (2020), « *bloxxberg: The Trusted Research Infrastructure* », [145]
https://bloxxberg.org/wp-content/uploads/2020/02/bloxxberg_whitepaper_1.1.pdf (consulté le 5 février 2021).
- Brody, P.** (2019), *How public blockchains are making private blockchains obsolete*, Ernst & Young, [62]
https://www.ey.com/en_us/innovation/how-public-blockchains-are-making-private-blockchains-obsolete (consulté le 17 novembre 2020).
- Buterin, V.** (2016), *Let's talk about the projected coin supply over the coming years*, Reddit, [60]
https://www.reddit.com/r/ethereum/comments/5izcf5/lets_talk_about_the_projected_coin_supply_over/dbc66rd/
 (consulté le 17 novembre 2020).
- Cabrol, M.** (2018), *Technology is Creating a Human-Centric Economy, and It's Based on Trust*, Inter-American Development Bank, [131]
<https://blogs.iadb.org/caribbean-dev-trends/en/technology-is-creating-a-human-centric-economy-and-its-based-on-trust/>
 (consulté le 16 novembre 2020).
- Castillo, M.** (2019), *Hyperledger Unanimously Approves First Ethereum Codebase For Enterprises*, Forbes, [43]
<https://www.forbes.com/sites/michaeldelcastillo/2019/08/29/hyperledger-unanimously-approves-first-ethereum-codebase-for-enterprises/#838c037794cc> (consulté le 17 novembre 2020).
- Castro-Iragorri, C.** (2018), *Hyperledger Supporting Blockcerts Compliant Digital Diplomas across Colombian Universities*, [135]
 Hyperledger Global Forum, <https://hgf18.sched.com/event/G8rr/hyperledger-supporting-blockcerts-compliant-digital-diplomas-across-colombian-universities-carlos-castro-iragorri-universidad-del-rosario> (consulté le 16 novembre 2020).
- CEF Digital** (s.d.), *EBSI Documentation home*, [175]
<https://ec.europa.eu/cefdigital/wiki/display/CEFDIGITALEBSI/EBSI+Documentation+home> (consulté le 17 novembre 2020).
- CEF Digital** (s.d.), *European Blockchain Services Infrastructure*, European Commission, [40]
<https://ec.europa.eu/cefdigital/wiki/display/CEFDIGITAL/EBSI> (consulté le 13 novembre 2020).
- CEF Digital** (s.d.), *Use Cases and Functional Documentation*, [176]
<https://ec.europa.eu/cefdigital/wiki/display/CEFDIGITALEBSI/Use+Cases+and+Functional+Documentation>
 (consulté le 17 novembre 2020).
- Chainalysis** (s.d.), *Chainalysis*, <https://www.chainalysis.com/> (consulté le 13 novembre 2020). [63]
- CNN** (2020), *Almost 1 in 3 pilots in Pakistan have fake licenses, aviation minister says*, [123]
<https://edition.cnn.com/2020/06/25/business/pakistan-fake-pilot-intl-hnk/index.html> (consulté le 16 novembre 2020).
- CNN** (s.d.), *University blockchain experiment aims for top marks*, [183]
<https://edition.cnn.com/videos/tv/2018/06/28/blockchain-university-dubai-global-gateway.cnn>
 (consulté le 17 novembre 2020).
- Cocks, P.** (2017), *Malta first to launch education blockchain certification*, Malta Today, [165]
https://www.maltatoday.com.mt/news/national/80704/government_launches_first_blockchain_initiative_in_education
 (consulté le 16 novembre 2020).
- Coin Telegraph** (s.d.), *What Is Lightning Network And How It Works*, Cointelegraph, [33]
<https://cointelegraph.com/lightning-network-101/what-is-lightning-network-and-how-it-works> (consulté le 27 juin 2020).
- CoinMarketCap** (s.d.), *CoinMarketCap*, <https://coinmarketcap.com/> (consulté le 25 juin 2020). [20]

- CoinTelegraph** (s.d.), *What Are Smart Contracts? Guide For Beginners*, [25]
<https://cointelegraph.com/ethereum-for-beginners/what-are-smart-contracts-guide-for-beginners>
 (consulté le 27 juillet 2020).
- Company Newsroom of Learning Machine** (2020), *First Blockcerts Issued in India: Pallavan School and Vasant Valley School, Facilitated by Pallavan Learning Systems and Learning Machine, Issue Blockchain Credentials*, [205]
<https://learningmachine.newswire.com/news/first-blockcerts-issued-in-india-pallavan-school-and-vasant-valley-21072917>
 (consulté le 17 novembre 2020).
- Company Newsroom of Learning Machine** (2018), *Press Release: KAUST Set to Be First University in Middle East to Issue Blockchain Credentials Using Blockcerts Open Standard*, [190]
<https://learningmachine.newswire.com/news/kaust-set-to-be-first-university-in-middle-east-to-issue-blockchain-20703496>
 (consulté le 17 novembre 2020).
- ConsenSys** (2020), *Latin American and Caribbean Citizens Are Coordinating COVID-19 Deconfinement With This New Ethereum Application*, ConsenSys, <https://consensys.net/blog/news/latin-american-and-caribbean-citizens-are-coordinating-covid-19-deconfinement-with-this-new-ethereum-application/> (consulté le 17 novembre 2020). [50]
- ConsenSys** (2019), *The Thirddening: What You Need To Know*, ConsenSys, [58]
<https://media.consensys.net/the-thirddening-what-you-need-to-know-df96599ad857> (consulté le 17 novembre 2020).
- ConsenSys** (s.d.), *About*, <https://consensys.net/about/> (consulté le 26 juin 2020). [37]
- Crace, A.** (2019), *Digitary & Evernym Collaborate*, The PIE News, [162]
<https://thepienews.com/news/digitary-evernym-collaborate-boost-credentialing/> (consulté le 16 novembre 2020).
- Credential Engine** (s.d.), *Credential Transparency Description Language (CTDL) Handbook*, [84]
<https://credreg.net/ctdl/handbook> (consulté le 13 novembre 2020).
- Cuthbertson, A.** (2017), *Bitcoin Mining on Track to Consume All of the World's Energy by 2020*, Newsweek, [10]
<https://www.newsweek.com/bitcoin-mining-track-consume-worlds-energy-2020-744036> (consulté le 17 novembre 2020).
- Dagger, M.** (2020), *A Comprehensive Guide to Decentralized Stablecoins*, Hackernoon, [55]
<https://hackernoon.com/a-comprehensive-guide-to-decentralized-stablecoins-22f66553c807>
 (consulté le 17 novembre 2020).
- Decentralized Identity Foundation** (s.d.), *Decentralized Identity Foundation*, [93]
<https://identity.foundation/> (consulté le 13 novembre 2020).
- DiChristopher, T.** (2017), *No, bitcoin isn't likely to consume all the world's electricity in 2020.*, CNBC, [9]
<https://www.cnn.com/2017/12/21/no-bitcoin-is-likely-not-going-to-consume-all-the-worlds-energy-in-2020.html>
 (consulté le 17 novembre 2020).
- Digital Credentials Consortium** (2020), *Building the digital credential infrastructure for the future*, <https://digitalcredentials.mit.edu/wp-content/uploads/2020/02/white-paper-building-digital-credential-infrastructure-future.pdf>. [146]
- Dinkins, D.** (2017), *SegWit Locked-in, But Questions Remain About Bitcoin's Level of Decentralization*, CoinTelegraph, [36]
<https://cointelegraph.com/news/Bitcoin-is-decentralized-but-not-distributed-and-that-fact-likely-contributed-to-Bitcoins-civil-war>
 (consulté le 17 novembre 2020).
- Du Seuil, D. et C. Pastor** (2019), *Understanding the European Self-Sovereign Identity Framework (ESSIF)*, [79]
<https://ssimeetup.org/understanding-european-self-sovereign-identity-framework-essif-daniel-du-seuil-carlos-pastor-webinar-32/> (consulté le 13 novembre 2020).
- Durant, E.** (2017), *Digital Diploma debuts at MIT*, MIT News, [138]
<https://news.mit.edu/2017/mit-debuts-secure-digital-diploma-using-bitcoin-blockchain-technology-1017> (consulté le 16 novembre 2020).
- Education, T.** (s.d.), *The Internet of Education*, [97]
https://docs.google.com/document/d/1tWiaiU950vS_ktVDbSiQlwl6CZVUzgiKwUWuTunTde8U0/edit (consulté le 13 novembre 2020).
- Enterprise Ethereum Alliance** (n.d.), *Entethalliance*, <https://entethalliance.org/> (consulté le 13 novembre 2020). [38]
- EthHub** (s.d.), *Monetary Policy*, <https://docs.ethhub.io/ethereum-basics/monetary-policy/> (consulté le 13 novembre 2020). [57]
- EU Blockchain Observatory and Forum** (2019), *EU Blockchain Observatory and Forum: Workshop Report, e-Identity, Brussels, November 7 2019*, [80]
https://www.eublockchainforum.eu/sites/default/files/reports/workshop_5_report_-_e-identity.pdf.

- European Commission** (s.d.), *ESCO and the new Europass: occupations and skills for lifelong career management*, [178]
<https://ec.europa.eu/esco/portal/news/fd542061-178a-4a04-81ae-b3b0eccb3edd> (consulté le 17 novembre 2020).
- Everis** (European Commission) (s.d.), *Europass framework for digitally-signed credentials*, [179]
https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/europass_background-info_framework-digitally-signed-credentials.pdf
 (consulté le 17 novembre 2020).
- Ezell, A. et J. Bear** (2012), *Degree Mills: The Billion-dollar Industry That Has Sold Over A Million Fake Diplomas*, Prometheus [120]
 Books.
- Federation of State Medical Boards** (2019), *Healthcare and Digital Credentials: Technical, Legal, and Regulatory Considerations*, <https://www.fsmb.org/digitalcredentials/> (consulté le 16 novembre 2020). [113]
- Fitzpatrick, L.** (2020), *Expect A Huge Backlash If Stablecoins Are Banned*, Forbes, <https://www.forbes.com/sites/lukefitzpatrick/2020/04/27/expect-a-huge-backlash-if-stablecoins-are-banned/#634415c261d2>. [56]
- Foxley, W.** (2020), *Vitalik Buterin Clarifies Remarks on Expected Launch Date of Eth 2.0.*, CoinDesk, [29]
<https://www.coindesk.com/vitalik-buterin-clarifies-remarks-on-expected-launch-date-of-eth-2-0>.
- Friedman, S.** (2019), *Union Public Schools Launches Blockchain-Based Credentials*, [140]
<https://thejournal.com/articles/2019/04/30/union-public-schools-launches-blockchain-based-credentials.aspx>.
- Gibson, K.** (2017), *Your MD may have a phony degree*, CBS News, [122]
<https://www.cbsnews.com/news/your-md-may-have-a-phony-degree/> (consulté le 16 novembre 2020).
- Global Blockchain Business Council** (s.d.), *Chain Reaction: Blockchain Enters the Mainstream - 2020 annual report*, [191]
<https://www.lw.com/thoughtLeadership/gbbc-report-blockchain-enters-mainstream> (consulté le 17 novembre 2020).
- Government of Canada Talent Cloud** (s.d.), *Talent Cloud*, <https://talent.canada.ca/en> (consulté le 16 novembre 2020). [158]
- GradBase** (s.d.), *GradBase*, <https://www.gradba.se/en/> (consulté le 16 novembre 2020). [171]
- Grech, A. et A. Camilleri** (2017), *Blockchain in Education*, European Commission Joint Research Centre | Edited by Andreia Inamorato dos Santos, [130]
[https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC108255/jrc108255_blockchain_in_education\(1\).pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC108255/jrc108255_blockchain_in_education(1).pdf).
- Greenspoon, A.** (2018), *The value of 'free agents' inside the public service*, Policy Options, [159]
<https://policyoptions.irpp.org/magazines/november-2018/the-value-of-free-agents-inside-the-public-service/>
 (consulté le 16 novembre 2020).
- Hague Convention** (1961), *Convention Abolishing the Requirement of Legalisation for Foreign Public Documents*, [126]
<https://www.hcch.net/en/instruments/conventions/full-text/?cid=41>.
- Hamdani, Z.** (2020), *ARUCC teams up with Digitary to build Made for Canada network*, Global Education Times, [161]
https://www.globaleducationtimes.org/news/north-america/arucc-teams-up-with-digitary-to-build-made-for-canada-network/1690/?fbclid=IwAR271A6g9UK3yjtND-Uclm3ymmD3h8hBToEsPa_MG4hUdjAjzvODMD81IOE (consulté le 16 novembre 2020).
- Hargrave, S. et E. Karnoupakis** (2020), *Blockchain Success Stories: Case Studies from the Leading Edge of Business*, [137]
 O'Reilly Media.
- Hess, A.** (2020), *College enrollment is down because of the pandemic—and community colleges have been hit the hardest*, CNBC, [210]
<https://www.cnbc.com/2020/10/01/how-the-coronavirus-pandemic-has-impacted-college-enrollment.html>
 (consulté le 17 novembre 2020).
- HKUST Academic Registry** (s.d.), *Electronic Documents Verification Program*, <https://registry.ust.hk/verify/info> (consulté le 17 novembre 2020). [206]
- Holon IQ** (2018), *Education in 2030: The \$10 Trillion dollar question*, <https://www.holoniq.com/2030/> (consulté le 17 novembre 2020). [209]
- Holon IQ** (2018), *Global Student Flows*, <https://www.holoniq.com/global-student-flows> (consulté le 17 novembre 2020). [208]
- Hyland Credentials** (s.d.), *Customer Stories*, <https://www.hylandcredentials.com/customer-stories> (consulté le 16 novembre 2020). [115]
- Hyland Newsroom** (2020), *New Mexico Higher Education Department selects Hyland Credentials for Higher Education*, [144]
<https://news.hyland.com/new-mexico-higher-education-department-selects-hyland-credentials-for-higher-education/>
 (consulté le 16 novembre 2020).

- IBM** (s.d.), *IBM Blockchain Services. Blockchain consulting that turns strategy into business outcomes.*, [46]
<https://www.ibm.com/blockchain/services/> (consulté le 13 novembre 2020).
- IEEE** (s.d.), *Learning Technology Standards Committee (LTSC)*, <https://sagroups.ieee.org/ltsc/> (consulté le 13 novembre 2020). [94]
- IMS Global** (s.d.), *Comprehensive Learner Record*, <https://www.imsglobal.org/activity/comprehensive-learner-record> (consulté le 13 novembre 2020). [86]
- Indorse** (s.d.), *Indorse*, <https://indorse.io/metamorph> (consulté le 17 novembre 2020). [203]
- Insights, L.** (2020), *South Korea has global ambitions for decentralized identity systems*, [78]
<https://www.ledgerinsights.com/south-korea-decentralized-identity-ambitions/> (consulté le 13 novembre 2020).
- Internet Identity Workshop** (s.d.), *Internet Identity Workshop*, <https://internetidentityworkshop.com/> (consulté le 28 juin 2020). [88]
- Internet of Education** (s.d.), *Internet of Education*, <https://www.internetofeducation.org/> (consulté le 13 novembre 2020). [96]
- Jagers, C.** (2018), *The Blockchain in Education*, Learning Machine Blog, [110]
<https://medium.com/learning-machine-blog/the-blockchain-in-education-5a322fe9fe86>.
- Jagers, C.** (s.d.), *A Passport to Greater Opportunity*, Learning Machine Blog, [207]
<https://www.learningmachine.com/passport-greater-opportunity/> (consulté le 17 novembre 2020).
- Jagers, C.** (s.d.), *Future Proof*, Learning Machine Blog, <https://www.learningmachine.com/future-proof> [136]
(consulté le 16 novembre 2020).
- Jamaica Observer** (2019), *CXC to provide students with e-certificates after successful trial*, [195]
http://www.jamaicaobserver.com/latestnews/CXC_to_provide_students_with_e-certificates_after_successful_trial?profile=1228 (consulté le 17 novembre 2020).
- Jessel, B.** (2020), *Ethereum, Fabric, Corda, And Multichain. Only One Is Government Ready - New Report*, Forbes, [53]
<https://www.forbes.com/sites/benjessel/2020/04/21/ethereum-fabric-corda-and-multichain-only-one-is-government-readynew-report/#4f0443ae263b>.
- Jonkers, R.** (2018), *SAP Blockchain for Higher Education*, [169]
<https://www.slideshare.net/RobJonkers/sap-blockchain-for-higher-education> (consulté le 16 novembre 2020).
- Kar, I.** (2016), *The developers behind Ethereum are hacking the hacker that hacked it*, QZ, [34]
<https://qz.com/713078/the-developers-behind-ethereum-are-hacking-the-hacker-that-hacked-it/> (consulté le 24 novembre 2020).
- Kelly, R.** (2018), *Southern New Hampshire U Issues Blockchain Credentials to College for America Grads*, [139]
<https://campustechnology.com/articles/2018/06/11/southern-new-hampshire-u-issues-blockchain-credentials-to-college-for-america-grads.aspx> (consulté le 16 novembre 2020).
- Kenobit, O.** (2018), *Hyperbitcoinization: Winner Takes All*, Medium, [17]
<https://medium.com/coinmonks/hyperbitcoinization-winner-takes-all-69ab59f9695f> (consulté le 24 novembre 2020).
- Konings, L.** (2019), *Electronic Platform for Adult Learning in Europe (EPALE): EMC launches Common Microcredential Framework*, [83]
<https://epale.ec.europa.eu/en/content/emc-launches-common-microcredential-framework> (consulté le 24 novembre 2020).
- Krawisz, D.** (2014), *Hyperbitcoinization, Satoshi Nakamoto Institute*, Satoshi Nakamoto Institute, [16]
<https://nakamotoinstitute.org/mempool/hyperbitcoinization/> (consulté le 24 novembre 2020).
- La Fuente Querétaro** (2020), *Profesionistas podrán tramitar cédula en línea*, [197]
<https://periodicolafuente.com/profesionistas-tramitar-cedula-en-linea/> (consulté le 17 novembre 2020).
- Learning Economy Foundation** (s.d.), *Broward OpenCLR Lab*, <https://www.learningeconomy.io/browardlab> [154]
(consulté le 16 novembre 2020).
- Learning Economy Foundation** (s.d.), *C-Lab: A Learning Economy Co-Lab*, <https://www.learningeconomy.io/clab> [152]
(consulté le 16 novembre 2020).
- Learning Economy Foundation** (s.d.), *Learning Economy Foundation*, <https://www.learningeconomy.io/> [95]
(consulté le 13 novembre 2020).

- Learning Economy Foundation** (s.d.), *Memo: AP-Lab Co-Lab Learning Ecosystems for the Asia-Pacific Region*, [155]
<https://docs.google.com/document/d/1pzdcZdus7340F20lk1ZZjFY6vdjZY3G8-IVPZlqf4cA/edit#heading=h.9tjzwbwqbx>
 (consulté le 24 novembre 2020).
- Learning Economy Foundation** (s.d.), *Roadmap*, <https://www.learningeconomy.io/#Roadmap> (consulté le 16 novembre 2020). [109]
- Learning Machine** (2018), *Blockcerts Enables Multi-Chain Issuing and Verification of Official Documents*, [134]
<https://learningmachine.newswire.com/news/blockcerts-enables-multi-chain-issuing-and-verification-of-official-20680828>
 (consulté le 16 novembre 2020).
- Learning Machine Company Newsroom** (2019), *Press Release: Maryville University Partners With Learning Machine to Issue Digital Diplomas Using Blockcerts*, [142]
<https://learningmachine.newswire.com/news/maryville-university-partners-with-learning-machine-to-issue-digital-21036653>
 (consulté le 24 novembre 2020).
- Learning Machine Newsroom** (2016), *Learning Machine and MIT Media Lab Release Blockchain Technology for Educational Credentials*, <https://learningmachine.newswire.com/news/learning-machine-and-mit-media-lab-release-blockchain-technology-for-11633933> (consulté le 16 novembre 2020). [114]
- Ledger Insights** (2020), *Workday sees blockchain as key to employee credentialing*, [148]
<https://www.ledgerinsights.com/workday-blockchain-employee-credentialing/> (consulté le 16 novembre 2020).
- Leising, M. et O. Kharif** (2020), *Ethereum Races Clock to Collect Enough Coins for Big Upgrade*, Bloomberg, [27]
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-11-23/ethereum-races-clock-to-collect-enough-coins-for-huge-upgrade>.
- Lemoie, K. et L. Soares** (2020), *Connected Impact: Unlocking Education and Workforce Opportunity through Blockchain*, [44]
 American Council on Education,
<https://www.acenet.edu/Documents/ACE-Education-Blockchain-Initiative-Connected-Impact-June2020.pdf> (consulté le 24 novembre 2020).
- Longino Torres, J.** (2019), *¡Hola, futuro! Inicia Tec era de títulos universitarios en blockchain*, Tecnológico de Monterrey, [192]
https://tec.mx/es/noticias/nacional/educacion/hola-futuro-inicia-tec-era-de-titulos-universitarios-en-blockchain?&utm_source=twitter&utm_medium=social-media&utm_campaign=addtoany (consulté le 17 novembre 2020).
- Longstaff, B.** (2018), *Why hashed Personally identifiable information (PII) on the blockchain can be safe*, Medium, [66]
<https://medium.com/meeco/why-hashed-personally-identifiable-information-pii-on-the-blockchain-can-be-safe-b842357b9663>
 (consulté le 24 novembre 2020).
- Maaghul, R.** (2019), *Why ODEM is building on the Ethereum blockchain*, ODEM Blog, [106]
<https://blogs.odem.io/why-odem-is-building-on-the-ethereum-blockchain> (consulté le 24 novembre 2020).
- Malone, K.** (2020), *Blockchain Saving HHS \$30M on First Accelerate Contract*, MeriTalk, [54]
<https://www.meritalk.com/articles/blockchain-saving-hhs-30m-on-first-accelerate-contract/> (consulté le 24 novembre 2020).
- McCauley, A.** (2019), *Unblocked: How Blockchain will Change Your Business (and What to Do About It)*, O'Reilly. [129]
- McMaster University Office of the Registrar** (s.d.), *Digital diplomas*, [116]
<https://registrar.mcmaster.ca/digitaldiplomas/#:~:text=McMaster%20University%20issues%20graduates%20a,protect%20and%20verify%20the%20diploma> (consulté le 16 novembre 2020).
- McSpadden, K.** (2017), *Ngee Ann Polytechnic to pilot blockchain diplomas*, partners Attories, e27, [202]
<https://e27.co/ngee-ann-polytechnic-to-pilot-blockchain-diplomas-partners-attories-20170526/>
 (consulté le 17 novembre 2020).
- McWhinney, J.** (2019), *Why Governments Are Afraid of Bitcoin.*, Investopedia, [21]
<https://www.investopedia.com/articles/forex/042015/why-governments-are-afraid-bitcoin.asp>
 (consulté le 24 novembre 2020).
- Mearian, L.** (2018), *Will Blockchain Run Afoul of GDPR? (Yes and no)*, Computerworld, [65]
<https://www.computerworld.com/article/3269750/will-blockchain-run-afoul-of-gdpr-yes-and-no.html>
 (consulté le 24 novembre 2020).
- Meetup** (2020), *[Hyperledger SF] Workday and AWS discuss Hyperledger Fabric [Mon, Feb 24]*, [149]
<https://www.meetup.com/Hyperledger-SF/events/267518767/> (consulté le 16 novembre 2020).
- Messari** (2019), *Timechains*, <https://messari.io/article/timechains> (consulté le 24 novembre 2020). [13]
- Messari.io.** (2019), *On-chain Governance*, <https://messari.io/article/on-chain-governance> (consulté le 24 novembre 2020). [32]

- Miller, L.** (2020), *Four Bright Spots in a Year That's Irreversibly Changed Higher Ed Admissions*, Liaison International for Inside Higher Ed, <https://narratives.insidehighered.com/bright-spots-year-changed-admissions/index.html> (consulté le 17 novembre 2020). [211]
- MIT Media Lab** (s.d.), *Digital Certificates Project*, <https://certificates.media.mit.edu/> (consulté le 16 novembre 2020). [133]
- MIT Media Lab** (s.d.), *Project: Digital Academic Credentials*, <https://www.media.mit.edu/projects/media-lab-digital-certificates/overview/> (consulté le 16 novembre 2020). [132]
- MIT Open Learning** (2020), *University-led Digital Credentials Consortium explores technology for digital academic credentials*, <https://openlearning.mit.edu/news/university-led-digital-credentials-consortium-explores-technology-digital-academic-credentials> (consulté le 24 novembre 2020). [90]
- Morris, C.** (2018), *Bitcoin Mining Uses More Energy Than Homes Do in Iceland*, Fortune, <https://fortune.com/2018/02/13/iceland-bitcoin-mining-electricity/> (consulté le 24 novembre 2020). [8]
- Moskov, A.** (2018), *What is the Byzantine Generals Problem?*, CoinCentral, <https://coincentral.com/byzantine-generals-problem/> (consulté le 9 novembre 2020). [2]
- Munro, A.** (2018), *Good clean use case: Bahamian students graduate on the blockchain*, finder, <https://www.finder.com.au/good-clean-use-case-bahamian-students-graduate-on-the-blockchain> (consulté le 17 novembre 2020). [194]
- Muzzy, E.** (2020), *What Is Proof of Stake?*, Consensus Blog, <https://consensus.net/blog/blockchain-explained/what-is-proof-of-stake/> (consulté le 24 novembre 2020). [30]
- Nakamoto, S.** (2008), *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, <http://www.bitcoin.org> (consulté le 24 novembre 2020). [1]
- Nuzzi, L.** (2019), *Schnorr Signatures & The Inevitability of Privacy in Bitcoin*, Medium, <https://medium.com/digitalassetresearch/schnorr-signatures-the-inevitability-of-privacy-in-bitcoin-b2f45a1f7287> (consulté le 24 novembre 2020). [18]
- OECD** (2005), *Guidelines for quality provision in cross-border higher education*, <http://www.oecd.org/education/innovation-education/35779480.pdf>. [125]
- OECD** (2004), *Internationalisation and Trade in Higher Education*, OECD, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264015067-en>. [124]
- OpenCerts** (s.d.), *Collaborate*, <https://opencerts.io/collaborate> (consulté le 13 novembre 2020). [77]
- OpenCerts** (s.d.), *OpenCerts*, <https://opencerts.io/> (consulté le 16 novembre 2020). [118]
- Oracle** (s.d.), *Oracle Blockchain Enterprise Edition*, <https://www.oracle.com/database/technologies/blockchain-platform-enterprise-edition.html> (consulté le 13 novembre 2020). [47]
- Parisi, B.** (2018), *Woolf University: Will Blockchain Make College Affordable?*, In the Mesh, <https://inthemesh.com/archive/woolf-university-will-the-blockchain-make-college-more-affordable/> (consulté le 24 novembre 2020). [104]
- Parrish, J., J. Fryer et R. Parks** (2017), *Expanding the Academic Record: Revolutionizing Credentials*, NACE, <https://www.nacweb.org/job-market/trends-and-predictions/expanding-the-academic-record-revolutionizing-credentials/> (consulté le 17 novembre 2020). [215]
- Pisani, B.** (2018), *Bitcoin and ether are not securities, but some initial coin offerings may be*, SEC official says, CNBC, <https://www.cnbc.com/2018/06/14/bitcoin-and-ethereum-are-not-securities-but-some-cryptocurrencies-may-be-sec-official-says.html#close> (consulté le 24 novembre 2020). [24]
- Pistis.io** (s.d.), *Pistis.io*, <https://pistis.io/welcome/> (consulté le 16 novembre 2020). [150]
- Prince Consulting** (s.d.), *Prince Consulting*, <http://princeconsulting.biz/> (consulté le 17 novembre 2020). [201]
- Purifoy, C. et J. Smith** (2018), *G20: Of Currency, New Gold Standards & Rocket Fuel to Coordinate Global Impact*, G20 Leaders Summit Magazine, <https://www.learningeconomy.io/post/g20-cover-story-of-currency-new-gold-standards-and-rocket-fuel-to-coordinate-global-impact> (consulté le 24 novembre 2020). [108]
- PwC UK** (s.d.), *Smart Credentials*, <https://www.pwc.co.uk/blockchain/smart-credentials.html> (consulté le 16 novembre 2020). [172]
- Quorum** (s.d.), *Quorum*, <https://www.gogorum.com/> (consulté le 13 novembre 2020). [41]

- Reed, M.** (2016), *Co-Curricular Transcripts? Questions about a potentially good idea*, Inside Higher Ed., <https://www.insidehighered.com/blogs/confessions-community-college-dean/co-curricular-transcripts> (consulté le 17 novembre 2020). [216]
- Renieris, E.** (2020), *SSI? What we really need is full data portability*, Women in Identity Blog, <https://womeninidentity.org/2020/03/31/data-portability/> (consulté le 24 novembre 2020). [99]
- Salas, R.** (2018), *CNM named 'Innovator of the Year' for their use of blockchain tech*, KOB4, <https://www.kob.com/albuquerque-news/cnm-named-innovator-of-the-year-for-their-use-of-blockchain-tech-/5189370/> (consulté le 16 novembre 2020). [143]
- Sansone, K.** (2019), *Malta is first country to put education certificates on blockchain*, Malta Today, <https://www.maltatoday.com.mt/news/national/93148/malta-is-first-country-to-put-education-certificates-on-blockchain#.XG67xpNkg0o> (consulté le 16 novembre 2020). [166]
- SAP** (s.d.), *Intelligent Technologies*, <https://www.sap.com/products/intelligent-technologies/blockchain.html> (consulté le 13 novembre 2020). [48]
- Shahada** (s.d.), *Shahada*, <https://www.shahada.ae/> (consulté le 2 novembre 2020). [186]
- Sharma, R.** (2019), *What is the Enterprise Ethereum Alliance?*, Investopedia, <https://www.investopedia.com/tech/what-enterprise-ethereum-alliance/> (consulté le 24 novembre 2020). [39]
- Sharma, R.** (2019), *Why Is Ethereum Co-founder Proposing a Hard Cap?*, Investopedia, <https://www.investopedia.com/news/why-ethereum-cofounder-proposing-hard-cap/> (consulté le 24 novembre 2020). [59]
- Sharma, R.** (2019), *Zero Knowledge Proofs' Could Boost Blockchain Adoption on Wall Street*, Investopedia, <https://www.investopedia.com/news/zero-knowledge-proofs-could-boost-blockchain-adoption-wall-street/> (consulté le 24 novembre 2020). [67]
- Sharma, R.** (2018), *SEC Official Declares Ether Is Not a Security*, Investopedia, <https://www.investopedia.com/news/sec-officially-declares-ether-not-security/#:~:text=Ether%20is%20not%20a%20security%2C%20according%20to%20Bill%20Hinman%2C%20U.S.Commission%20Director%20of%20Corporate%20Finance.&text=After%20Bitcoin%2C%20ether%20is%20th> (consulté le 24 novembre 2020). [23]
- Shin, A.** (2020), *Hyperledger Fabric vs R3 Corda: A Business Perspective*, Medium, <https://medium.com/@kaishinaw/hyperledger-fabric-vs-r3-corda-a-business-perspective-cf935824de9> (consulté le 24 novembre 2020). [52]
- Siegel, D.** (2016), *Understanding the DAO Attack*, CoinDesk, <https://www.coindesk.com/understanding-dao-hack-journalists> (consulté le 24 novembre 2020). [35]
- Sixtin, E.** (2017), *Malta Introduces First Blockcerts Pilot in Europe*, BTCManager, <https://btcmanager.com/malta-introduces-first-blockcerts-pilot-in-europe/> (consulté le 16 novembre 2020). [164]
- Smart Dubai 2021** (s.d.), *Smart Dubai 2021*, <https://2021.smartdubai.ae/> (consulté le 24 novembre 2020). [181]
- SmartDegrees** (s.d.), *SmartDegrees*, <https://www.smartdegrees.es/en/home-en/> (consulté le 16 novembre 2020). [167]
- Smartworld** (2020), *Press Release: Smartworld and Grape Technology announced the launch of Shahada, a digital certificate protocol built on blockchain technology*, <https://www.smartworld.com/smartworld-and-grape-technology-announced-the-launch-of-shahada-a-digital-certificate-protocol-built-on-blockchain-technology/> (consulté le 17 novembre 2020). [185]
- Smolenski, N.** (dir. pub.) (s.d.), *Interview with Lluís Alfons Ariño Martín, Convenor of the Digital Diplomas Use Case for the EBSI*. [177]
- Smolenski, N.** (dir. pub.) (2018), *Conversation with a private tutor living and working in China*. [121]
- Smolenski, N.** (2016), *Identity and Digital Self-Sovereignty*, Medium, <https://medium.com/learning-machine-blog/identity-and-digital-self-sovereignty-1f3faab7d9e3> (consulté le 24 novembre 2020). [98]
- Southside Daily Staff** (2018), *Here's a new way ECPI University is issuing its degrees*, Wydaily, <https://wydaily.com/local-news/2018/11/05/heres-a-new-way-ecpi-university-is-issuing-its-degrees/> (consulté le 16 novembre 2020). [141]
- Steenis, H.** (2017), *Bitcoin's bite: why central banks should clamp down on cryptocurrencies*, Schroders, <https://www.schroders.com/en/uk/private-investor/insights/markets/bitcoins-bite-why-central-banks-should-clamp-down-on-cryptocurrencies/> (consulté le 24 novembre 2020). [22]

- SYSARTEC** (2020), *LinkedIn*, <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6745799560867700736/> (consulté le 4 mai 2020). [193]
- T3 Innovation Network** (2020), *Applying Self-Sovereign Identity Principles to Interoperable Learning Records: Principles, Challenges, and Community Guidance*, US Chamber of Commerce Foundation, <https://www.uschamberfoundation.org/sites/default/files/media-uploads/Applying%20SSI%20Principles%20to%20ILRs%20Report.pdf> (consulté le 24 novembre 2020). [101]
- Talent Cloud | Nuage de talents** (2018), *Twitter*, https://twitter.com/GC_Talent/status/1066820323490897921 (consulté le 24 novembre 2020). [157]
- Temple, J.** (2019), *Bitcoin mining may be pumping out as much CO2 per year as Kansas City*, MIT Technology Review, <https://www.technologyreview.com/2019/06/12/873/bitcoin-mining-may-be-pumping-out-as-much-cosub2-sub-per-year-as-kansas-city/> (consulté le 24 novembre 2020). [6]
- Texas Blockchain Council** (2021), *Hyland and Hedera Hashgraph Present Blockchain Proof of Concept for Records Verification to Texas Secretary of State*, https://www.prnewswire.com/news-releases/hyland-and-hedera-hashgraph-present-blockchain-proof-of-concept-for-records-verification-to-texas-secretary-of-state-301204696.html?tc=eml_cleartime. [128]
- The Linux Foundation** (2020), *Cross-Industry Coalition Advances Digital Trust Standards*, <https://www.linuxfoundation.org/press-release/2020/05/cross-industry-coalition-advances-digital-trust-standards/> (consulté le 13 novembre 2020). [92]
- The Open University** (s.d.), *Open Blockchain*, <https://blockchain.open.ac.uk/> (consulté le 16 novembre 2020). [173]
- The Open University** (s.d.), *QualiChain*, <https://qualichain-project.eu/> (consulté le 16 novembre 2020). [174]
- The Sovrin Foundation** (2018), *The Sovrin Network and Zero Knowledge Proofs*, The Sovrin Foundation, <https://sovrin.org/the-sovrin-network-and-zero-knowledge-proofs/> (consulté le 13 novembre 2020). [68]
- The United Arab Emirates' Government portal** (s.d.), *Emirates Blockchain Strategy 2021*, <https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/federal-governments-strategies-and-plans/emirates-blockchain-strategy-2021> (consulté le 17 novembre 2020). [180]
- Thys, F.** (2020), *One Third Of Private 4-Year Colleges Are At High Risk Financially, Model Predicts*, WBUR, <https://www.wbur.org/edify/2020/05/08/higher-education-financial-crisis> (consulté le 17 novembre 2020). [212]
- Treasury Board of Canada Secretariat** (2018), *Canada's trusted digital identity vision*, <https://www.canada.ca/en/treasury-board-secretariat/corporate/news/canada-trusted-digital-identity-vision.html> (consulté le 16 novembre 2020). [156]
- Trilling, B. et C. Fadel** (2009), *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times*, John Wiley And Sons, Inc. [213]
- Trust Over IP Foundation** (n.d.), *Trust Over IP Foundation*, <https://trustoverip.org/> (consulté le 13 novembre 2020). [91]
- UAEU** (2019), *United Arab Emirates University Launches UAEU Passport, University-Wide Blockchain Applications to Streamline Student Services*, https://www.uaeu.ac.ae/en/news/2019/feb/uaeu_passport.shtml (consulté le 17 novembre 2020). [182]
- Universidad Carlos III de Madrid** (2018), *Acreditaciones de Competencias Utilizando la Tecnología Blockchain en Cursos Spocs*, <https://www.uc3m.es/sdic/articulos/2018/acreditaciones-utilizando-blockchain> (consulté le 16 novembre 2020). [117]
- US Chamber of Commerce Foundation** (s.d.), *The T3 Innovation Network*, <https://www.uschamberfoundation.org/t3-innovation> (consulté le 13 novembre 2020). [89]
- US Department of Homeland Security** (2019), *News Release: DHS Awards \$199K for Blockchain Credential Lifecycle Management*, <https://www.dhs.gov/science-and-technology/news/2019/11/14/news-release-dhs-awards-199k-blockchain-tech> (consulté le 13 novembre 2020). [74]
- US Department of Homeland Security** (2019), *News Release: DHS Awards 159K for Infrastructure to Prevent Credential Fraud*, <https://www.dhs.gov/science-and-technology/news/2019/11/12/news-release-dhs-awards-159k-prevent-credential-fraud> (consulté le 13 novembre 2020). [72]
- US Department of Homeland Security** (2017), *News Release: DHS S&T Awards \$750K to Virginia Tech Company for Blockchain Identity Management Research and Development*, <https://www.dhs.gov/science-and-technology/news/2017/09/25/news-release-dhs-st-awards-750k-virginia-tech-company> (consulté le 13 novembre 2020). [73]

- US Department of State, Bureau of Consular Affairs** (s.d.), *Apostille Requirements*, [127]
<https://travel.state.gov/content/travel/en/records-and-authentications/authenticate-your-document/apostille-requirements.html> (consulté le 16 novembre 2020).
- Vander Ark, T.** (2018), *Imagining a Blockchain University*, Forbes, [103]
<https://www.forbes.com/sites/tomvanderark/2018/06/13/woolf-building-the-first-blockchain-university/?sh=41e45cff5ae5>.
- Varshney, N.** (2018), *Ethereum's supply has crossed 100M, here's what that means*, TheNextWeb, [61]
<https://thenextweb.com/hardfork/2018/06/11/ethereums-total-supply/> (consulté le 24 novembre 2020).
- VON** (s.d.), *Verifiable Organizations Network: Global Digital Trust for Organizations*, <https://vonx.io/> [75]
 (consulté le 13 novembre 2020).
- Vottun** (s.d.), *Vottun*, <http://vottun.com> (consulté le 16 novembre 2020). [168]
- W3C** (s.d.), *Decentralized Identifiers (DIDs) v1.0*, <https://w3c.github.io/did-core/> (consulté le 28 June 2020). [71]
- W3C** (s.d.), *Educational and Occupational Credentials in Schema.org Community Group*, [82]
<https://www.w3.org/community/eocred-schema/> (consulté le 25 June 2020).
- W3C** (s.d.), *Facts about W3C*, <https://www.w3.org/Consortium/facts.html> (consulté le 13 novembre 2020). [69]
- W3C** (s.d.), *Verifiable Credentials Data Model 1.0*, <https://www.w3.org/TR/vc-data-model/> (consulté le 24 novembre 2020). [70]
- W3C** (s.d.), *Verifiable Credentials for Education Task Force*, <https://w3c-ccg.github.io/vc-ed/> (consulté le 13 novembre 2020). [81]
- Watkins, R.** (2020), *Power and Seigniorage in Proof of Stake*, Messari.io, [31]
<https://messari.io/article/power-and-seigniorage-in-proof-of-stake> (consulté le 24 novembre 2020).
- Web of Trust** (s.d.), *Rebooting Web of Trust*, <https://www.weboftrust.info/> (consulté le 13 novembre 2020). [87]
- Weinstein, J.** (2015), *How can law enforcement leverage the blockchain in investigations?*, Coin Center, [64]
<https://coincenter.org/entry/how-can-law-enforcement-leverage-the-blockchain-in-investigations>
 (consulté le 24 novembre 2020).
- Wikipedia** (s.d.), *Byzantine fault*, https://en.wikipedia.org/wiki/Byzantine_fault (consulté le 25 June 2020). [3]
- Wikipedia** (s.d.), *Decentralized applications*, [26]
[https://en.wikipedia.org/wiki/Decentralized_application#:~:text=A%20decentralized%20application%20\(DApp%2C%20dApp,referred%20to%20as%20smart%20contracts](https://en.wikipedia.org/wiki/Decentralized_application#:~:text=A%20decentralized%20application%20(DApp%2C%20dApp,referred%20to%20as%20smart%20contracts) (consulté le 27 juillet 2020).
- Wikipedia** (s.d.), *Hyperledger*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperledger> (consulté le 28 June 2020). [42]
- Wikipedia** (s.d.), *Mozilla Open Badges*, https://en.wikipedia.org/wiki/Mozilla_Open_Badges (consulté le 26 June 2020). [112]
- Wikipedia** (s.d.), *Proof of work*, https://en.wikipedia.org/wiki/Proof_of_work (consulté le 25 June 2020). [5]
- Wikipedia** (s.d.), *R3 (company)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/R3_\(company\)](https://en.wikipedia.org/wiki/R3_(company)) (consulté le 28 June 2020). [51]
- Woolf University** (s.d.), *Woolf University*, <https://woolf.university/> (consulté le 26 June 2020). [105]
- Workday Credentials** (s.d.), *Workday Credentials & WayTo™ By Workday*, [147]
<https://credentials.workday.com/docs/overview/> (consulté le 16 novembre 2020).
- World Government Summit et al.** (2018), *Case Study: Free Agents and GC Talent Cloud – Canada, Embracing Innovation in Government*, [160]
<https://www.oecd.org/gov/innovative-government/Canada-case-study-UAE-report-2018.pdf>
 (consulté le 24 novembre 2020).
- Xertify** (s.d.), *Xertify*, <https://xertify.co/> (consulté le 17 novembre 2020). [196]
- Young, J.** (2018), *Academics Propose a 'Blockchain University,' Where Faculty (and Algorithms) Rule*, EdSurge, [102]
<https://www.edsurge.com/news/2018-10-25-academics-propose-a-blockchain-university-where-faculty-and-algorithms-rule>.
- Zawya** (2020), *Press Release: University of Dubai successfully publish e-Credentials of graduates on blockchain platform*, [187]
https://www.zawya.com/mena/en/press-releases/story/University_of_Dubai_successfully_publish_eCredentials_of_graduates_on_blockchain_platform-ZAWYA20200901071849/ (consulté le 17 novembre 2020).



Extrait de :

OECD Digital Education Outlook 2021

Pushing the Frontiers with Artificial Intelligence, Blockchain and Robots

Accéder à cette publication :

<https://doi.org/10.1787/589b283f-en>

Merci de citer ce chapitre comme suit :

Smolenski, Natalie (2022), « La blockchain et le monde de l'éducation : Un nouvel écosystème de délivrance de titres et diplômes », dans OCDE, *OECD Digital Education Outlook 2021 : Pushing the Frontiers with Artificial Intelligence, Blockchain and Robots*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/3d8f9af0-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document, ainsi que les données et cartes qu'il peut comprendre, sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région. Des extraits de publications sont susceptibles de faire l'objet d'avertissements supplémentaires, qui sont inclus dans la version complète de la publication, disponible sous le lien fourni à cet effet.

L'utilisation de ce contenu, qu'il soit numérique ou imprimé, est régie par les conditions d'utilisation suivantes :

<http://www.oecd.org/fr/conditionsdutilisation>.