

Blockchains & développement durable



LIVRE BLANC

“

**Nous sommes la dernière génération qui
puisse faire quelque chose**

Kristalina Georgieva
Vice-présidente de la Banque Mondiale
19 septembre 2018



SYNTHÈSE

Le point de départ de ce rapport est le suivant : « **les blockchains peuvent-elles permettre d'accélérer la réalisation des Objectifs du développement durable, et ce de façon significative et soutenable ?** ».

Une telle ambition soulève d'innombrables questions. Est-il possible concilier certaines blockchains et la dépense énergétique nécessaire à leur fonctionnement avec les Objectifs de développement durable ? Existe-t-il des blockchains publiques dont la sécurisation des transactions n'a pas le même impact énergétique ? La démultiplication des cas d'usage de « **Blockchains for good** » résulte-t-elle d'une convergence naturelle entre les principes de transparence, de traçabilité, de collaboration et de décentralisation notamment qui sous-tendent les registres distribués de type blockchain et qui sont implicites aux Objectifs d'un développement durable ? La crise sanitaire mondiale, engendrée par la pandémie de Covid-19, et la prise de conscience de l'intérêt et de la résilience des modèles décentralisés peuvent-elles servir d'accélérateur à l'usage de cette classe de technologie ?

Il nous est donc apparu important de revenir, dans un premier temps, aux fondamentaux du « Programme de développement durable à l'horizon 2030 » et des 17 Objectifs de développement durable, définis dans le cadre des discussions entre les 193 États membres de l'Organisation des Nations Unies et la société civile, puis, dans un second temps, de nous interroger sur les

fondamentaux des « blockchains », c'est-à-dire la manière dont elles fonctionnent et leur valeur ajoutée, ainsi que leur articulation et leur adhérence avec le monde réel, notamment à travers l'Internet des objets (IoT).

La première édition de ce livre blanc « Blockchains & développement durable » a permis d'identifier précisément quelque deux cents projets blockchain – chacun se rattachant à la poursuite d'un ou plusieurs Objectifs de développement durable.

Ces projets peuvent être rassemblés en dix grands thèmes - **(1) Financement et dons, (2) Environnement, énergie et climat, (3) Alimentation et agriculture, (4) Transport et logistique (5) Genre et sexualité, (6) Gouvernement et services publics, (7) Santé et médecine, (8) Banque et économie, (9) Information, journalisme, éducation et culture, ainsi qu'un thème transverse et central, l'identité numérique (0).**

Le premier constat qui en résulte tient dans la mesure d'un écart significatif entre les ambitions tous azimuts, portées par des initiatives et acteurs très variés, et la réalité d'exécution de ces projets qui se heurtent encore à de nombreuses limites, d'ordre techniques mais aussi juridiques, financières, administratives et sociales.

Nécessairement parcellaire, l'étude à la base de ce premier rapport aura permis de définir les grands principes et l'articulation d'un écosystème de monnaies dites programmables ou encore de crypto-



actifs reliant différents protocoles de blockchain à la poursuite des Objectifs de développement durable. L'analyse des nombreux projets, dont certains ont d'ores et déjà dépassé le simple stade de la preuve de concept, permet également de valider la pertinence et l'efficacité des modèles s'appuyant sur une architecture technique qui distribue la confiance entre ses utilisateurs, selon des règles prédéfinies, et une gouvernance sans tête ni centre, augurant de nouvelles interactions sociales.

Dans le cadre de la publication de cette première édition, nous nous sommes concentrés sur cinq grands thèmes, (1) l'argent programmable et développement durable, (2) les blockchains pour des services publics plus efficaces, (3) pour un commerce plus responsable, (4) pour une énergie solidaire, (5) les blockchains au service de l'action climatique, pour nous interroger finalement sur la notion de « tokenization » et de mesure d'impact, et enfin réfléchir au concept de développement durable *by design*.

Les premiers projets de monnaies programmables « durables » ont souvent été élaborés dans le contexte d'organisations non gouvernementales et d'organisations internationales dont les missions sont par nature alignées aux Objectifs de développement durable. Les entités internationales et supra-gouvernementales comme l'Organisation des Nations Unies, le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), le Programme Alimentaire Mondial

des Nations Unies (PAM) ou la Banque mondiale sont très en pointe sur le sujet.

Les projets les plus disruptifs tendent à substituer aux organisations pyramidales traditionnelles et à leur kyrielle d'acteurs opérant en cascade, des modèles distribués et collaboratifs, dont les objectifs fondamentaux, « peuple, prospérité, planète, paix et partenariats » sont invariables. Ces initiatives sont également mises en œuvre par des États, des associations à but non lucratif, ou encore, par des start-ups, au modèle économique encore peu lisible pour beaucoup. Elles sont enfin déployées par des entreprises bien établies, soit pour éviter une obsolescence de leur activité, soit pour rationaliser leur mode de fonctionnement.

Le caractère programmable d'actifs immatériels, ou matériels, puisque rattachés à la réalité à l'aide de dispositifs et composants techniques de l'Internet des objets (IoT), **renouvelle des manières de faire**. Faire transiter de l'argent d'un compte à un autre, certes, mais également déclencher un paiement à la survenance d'un événement particulier, l'assujettir à des conditions plus complexes. Suivre une production agricole, du lieu de sa récolte à la logistique empruntée au point de vente, délivrant une information au consommateur.

Au-delà du transfert d'argent en pair-à-pair, sans plus passer par un intermédiaire, la monnaie programmable, trouve déjà des applications concrètes dans quatre grands domaines directement liés aux



Objectifs de développement durable : l'investissement à impact social (*impact investing*), l'économie durable et les monnaies complémentaires (*sustainable development economy and currency*), l'inclusion financière (*financial inclusion*) et les collectes de fonds, les aides et la charité (*fundraising, aid and charity*).

Ce qui rend possible ces applications repose sur la nature même des blockchains et des smart contracts*¹ : transférer de la valeur, en pair à pair, à travers un registre immuable pour peu que l'on utilise une blockchain publique, assurant une transparence des flux financiers sans qu'il soit nécessaire de passer par des intermédiaires dont l'objet ne serait que la vérification, l'audit ou le contrôle des transactions sur le réseau.

Les blockchains inaugurent également de nouvelles manières de penser **l'efficacité de services publics** comme le cadastre ou le vote, mais aussi de réinterroger la notion d'identité numérique, à la fois « or noir » et « bête noire » du 21^e siècle dans les pays développés, selon celui qui les exploite ou qui en subit l'exploitation.

Dans les pays en développement, la **gestion d'une identité numérique** à travers une blockchain permettrait à quelque 1,1 milliards de personnes « invisibles » d'accéder à la propriété de leur propre terrain, d'ouvrir un compte bancaire, de faire du commerce et bénéficier de crédit ou d'aide au développement mais aussi d'accéder à un système de santé, de

scolariser des enfants et même d'accéder à la justice.

Face à l'exigence d'un commerce international plus transparent au fur et à mesure qu'il se complexifie, les blockchains pourraient améliorer la **traçabilité des matières premières**, comme Circular au Rwanda ou Better Cobalt en République démocratique du Congo, permettant ainsi de lutter efficacement contre le financement de conflits armés. Dans le domaine de la **traçabilité agricole**, AgriLedger/ AgUnity, en soutenant les petits agriculteurs et les petites coopératives au Kenya, en Papouasie-Nouvelle-Guinée et en Éthiopie, illustre avec force un moyen d'améliorer, sur le terrain, les conditions de vie locale des populations. La **traçabilité alimentaire** et la **traçabilité des modes de production**, permettent d'offrir une transparence entre l'exploitation agricole ou maritime et l'assiette du consommateur, en garantissant, tout au long d'une filière responsable, un salaire décent pour le premier de la chaîne, tout en outrepassant de nombreux intermédiaires qui rendent le système actuel opaque, sujet à la fraude et largement deresponsabilisant pour le consommateur.

Le recours aux blockchains dans le domaine des **énergies renouvelables** trouve des applications concrètes dans cinq grands domaines : Garantir l'origine verte de l'énergie utilisée, comme avec l'entreprise allemande Lition ou l'initiative TEO menée en France par Engie et Air Products and Chemicals.

¹ Les mots marqués d'un astérisque font l'objet d'une définition dans le glossaire en fin d'ouvrage.



Développer l'autoconsommation collective, c'est-à-dire la mise en relation entre producteurs et consommateurs d'électricité, à l'échelle locale, comme Power Ledger en Australie, ElectraSeed en Afrique, ou encore l'expérimentation française à Lyon, menée par Bouygues Construction, Microsoft, Energisme et Stratum. Inciter à la production d'énergie solaire, avec SolarCoin, dont le jeton* sert également à régler ses factures d'électricité dont la production provient d'énergie renouvelable. Effectuer de manière automatisée et fiable le calcul d'économie d'énergie, pour quantifier et justifier des performances carbone. Et enfin, inaugurer de nouveaux modes de financement des énergies renouvelables comme avec Enerfip, Lendosphère ou encore Lumo.

Enfin, les blockchains nourrissent l'espoir de porter de façon optimale le système de gouvernance prévu par l'**Accord de Paris sur le climat** en lui conférant précisément l'ensemble des vertus qui font défaut à sa mise en œuvre : des engagements volontaires, décentralisés, traçables et potentiellement monétisables de pairs-à-pairs grâce à l'intégrité que confère ce tiers de confiance entièrement distribué entre les parties.

Si la notion de **tokenization**, – en français jetonisation ou tokenisation, désigne le processus à travers lequel un actif et ses droits associés sont divisés en fractions, représentées sous la forme numérique d'un jeton, afin d'en assurer le suivi et d'en permettre les échanges, quel pourrait-êtr son impact sur la poursuite des Objectifs développement durable ? Les actifs tokenisés sont d'abord purement financiers mais porte également sur le réel, comme la propriété immobilière, la production d'électricité, des transactions de commerce international ou encore des systèmes de crédit carbone. D'autres, comme la fondation IXO, proposent déjà, par l'usage de blockchains, de « *collecter, mesurer, évaluer, valoriser et tokeniser des données d'impact vérifiées* ».

Entre tokenisation et **mesure d'impact**, notre interrogation finale aura été celle de savoir si certaines initiatives blockchains, pourraient être le vecteur d'un « **développement durable by design** » et quelles seraient les premières recommandations pour entamer une étude en ce sens.

TABLE DES MATIÈRES

SYNTHÈSE 4

POURQUOI CE LIVRE BLANC ? 10

LES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE 14

COMPRENDRE LES BLOCKCHAINS ... 17

...ET SES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ? 29

1. ARGENT PROGRAMMABLE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE 38

Focus : le réseau Stellar et Stellar.org 45

2. POUR DES SERVICES PUBLICS PLUS EFFICACES 50

Focus : Agora et le vote via blockchain 59

3. POUR UN COMMERCE PLUS RESPONSABLE 64

Focus : Purchain 74

12 CONSOMMATION ET PRODUCTION RESPONSABLES

5 ÉGALITÉ ENTRE LES SEXES

11 VILLES ET COMMUNITÉS DURABLES

6 EAU PROPRE ET ASSAINISSEMENT





4. POUR UNE ÉNERGIE SOLIDAIRE	80
Focus : Ubuntu Energy Ledger	87
5. BLOCKCHAIN ET ACTION CLIMATIQUE	90
Focus : L'expérience Ben & Jerry's	98
TOKENISATION ET MESURE D'IMPACT	102
DÉVELOPPEMENT DURABLE BY DESIGN	108
LISTE DES ENTREPRISES & PROJETS ÉTUDIÉS	114
GLOSSAIRE	116
BIBLIOGRAPHIE	120
LES AUTEURS	127

POURQUOI CE LIVRE BLANC ?

Les blockchains à travers le prisme du développement durable ?

Les blockchains ont suscité un attrait différencié de la part de publics très hétérogènes. Après l'engouement des ICOs*¹ et celui du secteur privé et associatif, à travers d'innombrables initiatives et de startups, dont beaucoup sans lendemain, le soufflet est quelque peu retombé avec notamment les projets reportés ou bloqués des GAFA² et des BATX³, suite au lancement avorté de Libra.

Après l'âge libertaire des pionniers, la technologie est en passe de s'institutionnaliser, notamment en France, avec l'intervention de plus en plus marquées des pouvoirs publics, enclins à une régularisation, mais également des banques centrales.

Alors que la technologie ne cesse d'évoluer pour devenir de plus en plus performante, le temps semble venu, pour la plupart des observateurs, d'interroger son utilité sociétale et d'identifier les domaines dans lesquelles elle apportent une réelle plus-value pour ses utilisateurs, la société et les objectifs communs portés par la communauté internationale.

La question à laquelle nous avons souhaité réfléchir en rédigeant ce livre blanc est simple :

Les blockchains peuvent-elles permettre d'accélérer la réalisation des Objectifs du développement durable, et ce de façon significative et soutenable ?

La crise sanitaire mondiale, engendrée par la pandémie de Covid-19, et la prise de conscience de l'intérêt et de la résilience des modèles décentralisés peuvent-elles servir d'accélérateur à l'usage de cette classe de technologie ? Les liens étroits entre les enjeux sanitaires et écologiques, mis en exergue par cette crise, permettront sans doute également de renforcer la dynamique en faveur de la poursuite des Objectifs de développement durable.

Le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC⁴) publié en octobre 2018 est sans ambiguïté sur le fait qu'il y a non seulement urgence à agir, mais qu'en plus, « *un changement sociétal profond est nécessaire*⁵ ».

Changements climatiques, acidification des océans, chute de la biodiversité, pollutions en tout genre, inégalités grandissantes, tous les indicateurs environnementaux et sociaux sont au rouge !

¹ Initial Coin Offering Les mots marqués d'un astérisque sont définis dans le glossaire accessible en fin d'ouvrage.

² Google, Apple, Facebook et Amazon.

³ Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi.

⁴ Organisme intergouvernemental, ouvert à tous les pays membres de l'ONU créé en 1988, dont la mission est « d'évaluer, sans parti pris et de façon méthodique, claire et objective, les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique qui nous sont nécessaires pour mieux comprendre les risques liés au réchauffement climatique d'origine humaine, cerner plus précisément les conséquences possibles de ce changement et envisager d'éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation ». Source : GIEC

⁵ Pierre Cannet, responsable du Programme Climat, Énergie et Infrastructures durables au WWF.

Le numérique, – *data*, intelligence artificielle, blockchains, porte l'espoir, comme l'a souligné le gouverneur de la Banque d'Angleterre, Mark Carney, d'accélérer l'agenda des solutions pour enrayer la trajectoire du changement climatique, mais aussi celle de l'épuisement des ressources, de la multiplication des conflits et des tensions sociales.

Comme le confiait la vice-présidente de la Banque mondiale, Kristalina Georgieva, en marge d'une réunion du G7 sur l'environnement à Halifax au Canada, le 19 septembre 2018, « *nous sommes la première génération à avoir déclenché le changement climatique, mais nous sommes peut-être la dernière à pouvoir faire quelque chose*⁶ ».

Les critiques à l'encontre du bitcoin ne sont plus à faire et sa réputation n'est plus à établir. Nous reviendrons cependant sur la nécessaire sécurisation des transactions propre au modèle de certains cryptoactifs, à commencer par le bitcoin qui repose sur une importante consommation d'énergie. Sans compter que les « fermes » de serveurs nécessitent un matériel informatique composé de métaux rares dont l'extraction est l'une des activités les plus polluantes au monde, qui plus est réalisée dans des pays controversés sur le respect des droits humains.

Ce contexte ne peut être complet sans aborder le caractère spéculatif des cryptoactifs et les phénomènes de bitcoinmania, qui transforme tout un

chacun en spéculateur et nourrit l'appât du gain facile et rapide.

Néanmoins, l'engouement pour les blockchains n'est pas irrationnel. Lors de la publication du document fondateur du Bitcoin en novembre 2008, le monde vit l'une des plus grandes crises financières depuis celle de 1929, marquée par une perte de confiance envers les banques, les institutions et les États.

C'est dans ce contexte politique que la blockchain Bitcoin a été conçue : comme une monnaie électronique entièrement décentralisée dont les transactions sont validées et sécurisées par les utilisateurs eux-mêmes, une manière de se réapproprier un outil monétaire qui rompt avec le monopole des États et des banques.

À mesure que les conséquences de la crise se sont étendues de la sphère financière à l'économie réelle, le déficit de confiance s'est propagé au sein de l'opinion publique et des acteurs économiques. Ainsi, à l'ouverture du débat général de la 73^e session de l'Assemblée générale des Nations Unies, son Secrétaire général, M. Antonio Guterres a déploré le « *syndrome du déficit de confiance*⁷ » qui affecte aussi bien les institutions nationales que les relations entre États ou encore l'idée d'un ordre mondial fondé sur des règles et une morale commune.

Les blockchains pourraient-elles devenir l'une des réponses techniques à ce

6 Le Monde avec AFP, édition du 20 septembre 2018.

7 Secrétaire général des Nations Unies S.E.M. António Guterres, Gadebate.un.org/fr/, 25 septembre 2018.

« *syndrome du déficit de confiance* », en devenant le socle d'une confiance collective nécessaire aux progrès social et environnemental ?

De plus en plus d'Organisations internationales et d'Organisations non gouvernementales (ONG) investissent le champ des blockchains pour rendre leurs actions plus efficaces et notamment garantir la traçabilité de leurs fonds jusqu'aux bénéficiaires, prévenir la corruption ou encore réduire significativement les frais de transactions prélevés par certains intermédiaires.

Au-delà de la traçabilité de l'aide internationale, de nombreuses initiatives sont menées dans des domaines variés, touchant de près ou de loin les Objectifs de développement durables inscrits à l'agenda 2030 de l'Organisation des Nations Unies, adopté en septembre 2015.

Des projets blockchains permettent de garantir la traçabilité d'une chaîne d'approvisionnement et ainsi d'assurer au consommateur que le thon rouge qu'il achète a bien été pêché de façon responsable, que l'électricité qu'il utilise provient bien d'une source d'énergie renouvelable, que ses économies sont investies dans une finance inclusive et responsable.

Pour le grand public, faire usage d'une blockchain ne se résume pas à télécharger un portefeuille bitcoin sur un smartphone pour effectuer des transactions en pair-

à-pair et une idée reçue, surtout dans les pays développés, tient à la dimension spéculative qui entoure les cryptodevises et autres jetons publics.

Si l'ergonomie et la fluidité des services devraient faire oublier la complexité des techniques mises en œuvre, force est de constater que la maturité des services n'est pas encore là. Pourtant, et ce livre blanc l'illustre, des services qui s'appuient sur des blockchains sont déjà testés et utilisés par des pêcheurs en mer australe, des petits agriculteurs en Éthiopie ou encore des populations défavorisées au Kenya.

De plus, il convient de distinguer celui qui utilise la technologie, en tant qu'individu dans un pays développé, de celui qui utilise la technologie comme réserve de valeur, au regard de la déflation de sa propre monnaie (au Venezuela, en Argentine, en Chine par rapport au dollar etc.). D'autres enfin utilisent ces technologies, parce qu'ils ont un smartphone et expérimentent le service proposé par des startups à travers des applications plus ou moins simples et intuitives. La démocratisation des smartphones et des smart feature phone⁸ en Afrique ouvre d'ailleurs un champ des possibles quant à l'usage de jetons selon des formes extrêmement variées et dont la plupart sont encore à inventer.

Parce que les blockchains ne sont qu'un outil, leurs trajectoires et leurs impacts dépendront de l'intention impulsée par ceux qui les mettent en œuvre. Notre travail de recherche nous a permis

⁸ Secrétaire général des Nations Unies S.E.M. António Guterres, Gadebate.un.org/fr/, 25 septembre 2018.

d'identifier quelques deux cents projets⁹ intégrant directement ou indirectement, dans leur finalité, la poursuite d'Objectifs de développement durable. Cette base de données de projets, associant blockchains et développement durable, a vocation à être continuellement mise à jour, afin d'établir un baromètre annuel et d'étudier les évolutions des projets identifiés.

Dès lors, que l'objectif poursuivi soit l'intérêt général, le bien commun ou la solidarité, quels sont les impacts financiers, sociaux et environnementaux d'une telle technologie ?

Quels questionnements éthiques soulèvent l'usage d'une blockchain et quels sont les nouveaux enjeux auxquels il convient de répondre ? Si d'innombrables projets émergent, combien dépassent le stade de l'effet d'annonce ou celui de l'expérimentation ? Quels sont ceux qui se déploient à grande échelle et de quelle manière ?

Les nombreuses questions que nous soulevons ne trouveront certainement pas toutes de réponses aujourd'hui.

Dans tous les cas, il s'avère que le succès d'initiatives blockchain résulte de l'interaction de divers acteurs, en amont et en aval d'une activité ou même concurrents les uns des autres.

Les nouveaux modes de gouvernance, induits par le déploiement de blockchains obligent les acteurs à jouer le jeu d'une

« coopération » – à la fois coopération et compétition – à laquelle peu sont familiers. Cette coopération ne pourra naître qu'à travers un écosystème pérenne et vertueux.

Notre souhait est tout à la fois de nourrir et participer à cet écosystème naissant et ainsi d'**explorer la convergence entre deux dynamiques actuellement à l'œuvre, celle de la technologie et celle du sens, celle des blockchains et celle du développement durable.**

A la lumière de ces transformations, et sur fond de pandémie mondiale, **quel pourrait être l'apport des blockchains quant à la poursuite des Objectifs de développement durable ?**

⁹ Voir « liste des entreprises étudiées » en fin d'ouvrage.



LES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les Objectifs de développement durable inscrits à l'agenda 2030 des Nations Unies.

Les Objectifs de développement durable (ODD), plus connus sous l'acronyme anglophone « SDGs » (Sustainable Development Goals), ont été définis dans le cadre des discussions entre les 193 États membres de l'Organisation des Nations Unies (ONU) et la société civile, suite à l'échéance des précédents objectifs du Millénaire (OMD). Ces Objectifs de développement durable ont été adoptés en septembre 2015, dans le cadre du « Programme de développement durable à l'horizon 2030 », dit Agenda 2030.

OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE



L'Agenda 2030 couvre 17 thématiques organisées en 17 Objectifs de développement durable, tous interconnectés et interdépendants, qui reposent sur les trois piliers reconnus d'un développement durable : le développement économique, l'intégration sociale et la protection de l'environnement.

Chaque Objectif de développement durable est assorti de plusieurs cibles, au nombre de 169, l'équivalent de déclinaisons

tactiques de l'objectif, et à chaque cible correspondent un ou plusieurs indicateurs. Ces indicateurs composent un système de mesure des progrès, souvent macro-économiques et sont regroupés en trois types¹.

Les indicateurs de niveau I sont clairement définis et ont une méthodologie établie au niveau international à propos de laquelle des standards sont disponibles.

¹ <https://unstats.un.org/sdgs/iaeg-sdgs/tier-classification/>



Des données sont produites régulièrement par au moins 50% des pays et de la population dans les régions pour lesquelles ils sont pertinents. A ce jour, il existe 116 indicateurs de niveau I².

Les indicateurs de niveau II sont clairs et ont également une méthodologie établie au niveau international mais les données ne sont pas produites régulièrement par les pays. A ce jour, il existe 92 indicateurs de niveau II.

Les indicateurs de niveau III sont ceux pour lesquels il n'existe pas, à ce jour, de méthodologie établie au niveau international ou de standards disponibles. Cependant, des efforts sont entrepris pour développer ou tester une méthodologie et définir des standards communs. A ce jour, il existe 20 indicateurs de niveau III.

Par ailleurs, quatre indicateurs se retrouvent dans plusieurs niveaux compte tenu de leur désagrégation.

Outre leur aspect institutionnel qui engage, sans contraindre, les États membres tout en s'appuyant sur un « Partenariat mondial pour le développement durable », ces 17 Objectifs de développement durable constituent un cadre d'orientation et une grille de lecture commune permettant le pilotage des stratégies propres à chaque partie prenante.

En plus de s'appuyer sur les États et les organisations internationales, la mise en œuvre des Objectifs de développement durable compte sur des partenariats multipartites pour mobiliser et partager des expertises, des technologies et des ressources financières³.

Ainsi, de nombreuses instances de l'Organisation des Nations Unies, mais également régionales comme l'Union européenne ou l'Union africaine, ou encore nationales et sectorielles, s'inspirent de cette grille de lecture pour définir leurs priorités et leviers d'actions en fonction des caractéristiques de leurs territoires et de leurs activités. Le secteur privé et les acteurs économiques sont largement concernés, et disposent de cadres d'orientation et d'initiatives spécifiques pour l'intégration des 17 Objectifs de développement durable dans leurs stratégies⁴, leur permettant ainsi de mesurer précisément leurs contributions à l'atteinte de ces derniers.

Cette dimension inclusive de toutes les parties prenantes, publiques, privées et civiles, se retrouve dans la Stratégie de financement établie par le Secrétariat général des Nations Unies pour la période 2018-2021⁵. Cette stratégie se compose de trois axes majeurs : l'alignement des politiques publiques et du système financier avec les Objectifs de développement durable, la mise en

² 11 décembre 2019. <https://unstats.un.org/sdgs/iaeg-sdgs/tier-classification>

³ Cible 17.16 : « Renforcer le Partenariat mondial pour le développement durable, associé à des partenariats multipartites permettant de mobiliser et de partager des savoirs, des connaissances spécialisées, des technologies et des ressources financières, afin d'aider tous les pays, en particulier les pays en développement, à atteindre les objectifs de développement durable ».

⁴ Ces directives et outils sont rassemblés sous le projet SDG Compass, mis en œuvre la Global Reporting Initiative - GRI, l'UN Global Compact, et le World Business Council for Sustainable Development - WBCSD (<https://sdgcompass.org/>).

⁵ Synopsis: The Secretary-General's Strategy for Financing the 2030 Agenda for Sustainable Development (2018 –2021)* Un.org.*



œuvre de mécanismes de financement et d'investissement adaptés par régions et par pays, et la mise à contribution des processus d'innovation, tant sur les produits que sur les technologies, afin d'assurer un accès équitable aux financements pour l'ensemble des parties prenantes.

C'est à travers ce troisième axe stratégique que les blockchains sont aujourd'hui considérées, tant par leurs capacités de transformation du système financier que pour la traçabilité et la facilité d'accès des données auxquelles elles contribuent.

Face à cette stratégie, plusieurs voix s'élèvent déjà pour dénoncer une approche trop techno-centrique des solutions envisagées. Le risque étant de creuser les inégalités entre les populations équipées et formées aux usages numériques et les autres, et d'encourager une surconsommation de matériel informatique consommateur de ressources rares, et dont le cycle de vie est fortement polluant à ce jour.

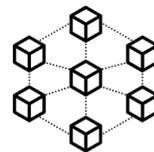
Ainsi, le consensus international est à la fois la force et la faiblesse de cet Agenda 2030 pour le développement durable.

Pour rassembler l'ensemble des parties prenantes, il aura fallu s'entendre sur une interprétation des modalités d'un développement durable parfois incohérente face aux constats scientifiques et sociaux sur les limites de nos modèles de sociétés.

Dans ce contexte, le système des Objectifs de développement durable doit donc être considéré pour ce qu'il est : un constat de nos enjeux planétaires communs, une grille de lecture pour nos stratégies et nos investissements, et un socle pour l'innovation sociale et technologique, et dont les ambitions ne sauraient se limiter aux indicateurs existants.

Dans un monde construit sur la compétition, les Objectifs de développement durable ouvrent la voie pour une transition vers des modèles plus coopératifs, collaboratifs et équitables.

A la lumière de ces transformations, quel pourrait être l'apport des blockchains quant à la poursuite des Objectifs de développement durable ?



COMPRENDRE LES BLOCKCHAINS ...

Une blockchain est aux transferts de valeurs ce que le web est à aux échanges d'informations.

Le réseau Internet a profondément bouleversé notre manière d'échanger de l'information. Aujourd'hui, 4,2 milliards de personnes disposent d'une connexion au réseau et utilisent communément diverses applications comme le courrier électronique, la messagerie instantanée ou encore le World Wide Web. Toutes ces applications reposent sur des protocoles de communication qui consistent à transmettre et copier de l'information *via* Internet, d'un point A vers un point B. Lorsqu'une personne envoie un courrier électronique, le message est copié de la boîte mail de l'émetteur vers la boîte mail du destinataire. Lorsqu'une personne accède à une page web, le contenu est copié du serveur où il est hébergé vers le navigateur de celui qui y accède.

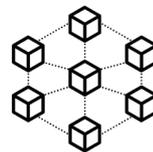
L'innovation majeure apportée par le bitcoin et les blockchains repose sur cette idée qu'une information unique peut-être transmise *via* Internet. Cette information, parce qu'elle est unique, représente donc un actif numérique dont le propre est de pouvoir être échangé. En effet, si une personne envoie un bitcoin à une autre personne, cette information n'est pas dupliquée, elle est désinscrite du compte de l'émetteur et inscrite au compte du destinataire.

Lorsque Satoshi Nakamoto¹, publie en novembre 2008 l'article fondateur « *Bitcoin : un système de paiement électronique pair-à-pair* », il apporte une réponse magistrale « *au problème de la double dépense* » qui anime depuis longtemps les informaticiens.

Ce problème, jusque-là insoluble, a toujours empêché la création d'une monnaie électronique, qui, par définition pouvait être recopiée : les blockchains en général, et la blockchain Bitcoin en particulier, permet de s'assurer qu'une personne utilisant cette monnaie électronique ne dépensera pas deux fois la même somme d'argent. Avec l'invention du Bitcoin, pour la première fois depuis le début de l'informatique, **la propriété d'un bien numérique peut être transférée sans être dupliquée ni passer par un registre centralisé.**

Jusqu'à l'apparition du bitcoin, la seule manière de s'échanger de l'argent sans passer par le réseau bancaire était d'utiliser de l'argent liquide, de la monnaie fiduciaire*. Aujourd'hui, grâce aux blockchains, il devient possible de transférer de l'argent, *via* le réseau Internet, sans intermédiaire. L'innovation fondamentale du bitcoin et des autres cryptomonnaies est littéralement d'être **du cash électronique.**

¹ Pseudonyme d'une personne ou d'un groupe à l'origine de la blockchain Bitcoin.



Au-delà du transfert d'actifs, comme des monnaies électroniques, des titres, des actions ou des obligations, les blockchains permettent de tenir un registre infalsifiable. Ces registres sont utilisés, par exemple, pour l'établissement d'un cadastre, l'enregistrement des données d'une chaîne logistique, ou encore, comme nous le verrons, pour l'exécution de programmes autonomes, appelés smart contracts* .

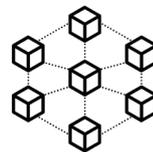
Actuellement, de nouveaux usages s'imaginent dans toutes les activités nécessitant la tenue d'un registre par un organe central ou un tiers de confiance, mais également dans toutes celles pour lesquelles des échanges entre de multiples acteurs induisent de nombreux contrôles, des problèmes de logistique, de lourdeur administrative et parfois de corruption.

D'un point de vue technique, ce que l'on appelle « blockchain » correspond en réalité à la combinaison de trois technologies qui aboutissent à un registre que l'on appelle blockchain : (1) un protocole de réseau pair-à-pair, (2) le minage par la preuve de travail, (3) la cryptographie asymétrique, qui, combinées, aboutissent à une chaîne de transactions horodatées et distribuée en pair-à-pair, que l'on appelle communément « blockchain ». Bitcoin s'inspire des travaux de cryptographie initiés dans les années 1990 par Haber et Stornetta, ou encore de Nick Szabo, informaticien, juriste et cryptographe, qui a proposé, dès 2005, un système d'échange monétaire basé sur la validation par la preuve de travail, et dont s'est probablement inspiré le [ou les] dénommé(s) Satoshi Nakamoto.

Le fonctionnement technique des blockchains étant largement couvert², nous n'y reviendrons dessus que brièvement : Une blockchain permet à ses utilisateurs d'effectuer des transactions de manière décentralisée, sans qu'un tiers de confiance soit en charge de les valider. La validation des transactions est assurée par le réseau à travers un mécanisme de consensus (proof of work, proof-of-stake* etc.). Dit autrement, selon Louis Bertucci, Institut Louis Bachelier, « *une blockchain est une base de donnée distribuée telle qu'un algorithme de consensus permet à un groupe d'agents, qui ne se font a priori pas confiance, de se mettre d'accord sur le contenu de cette base de donnée distribuée* ».

Ce registre de transactions est distribué entre tous les utilisateurs d'une blockchain publique, ce qui empêche quiconque de modifier une transaction à l'insu de tous, car il devrait le faire sur tous les ordinateurs qui participent du réseau et stockent ce registre. Une fois enregistrées dans un bloc, validé par certains nœuds du réseau appelés les mineurs, les transactions sont inscrites de manière définitive dans le registre. L'authenticité des transactions est garantie par le fait que chacune d'elle est liée de manière unique à un utilisateur, et qu'elle peut être vérifiée par tous, de manière transparente.

² Voir la bibliographie en fin d'ouvrage.



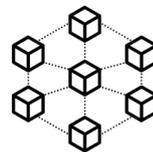
BITCOIN & bitcoin ?

Créé par une personne, ou un groupe de personnes, sous le pseudonyme de Satoshi Nakamoto, le réseau Bitcoin est en service depuis le 3 janvier 2009. Alors que « Bitcoin » avec un B majuscule désigne le réseau, le protocole et le logiciel qui le fait fonctionner, « bitcoin » désigne le jeton*, en anglais token, qui fait l'objet d'échanges sur ledit réseau.

Le bitcoin est une monnaie numérique qui s'échange en pair-à-pair, c'est à dire qu'elle ne passe pas par un État ou par une banque ni par aucun autre intermédiaire. Les transactions sont validées par certains nœuds du réseau appelés les mineurs. L'opération de minage consiste à valider les transactions par bloc en effectuant un calcul cryptographique appelé « validation par la preuve de travail » (proof-of-work). Cette opération, fortement consommatrice en énergie, est l'un des rouages permettant de sécuriser les transactions sur le réseau et de générer de nouveaux bitcoins. Les ordinateurs participant au minage sont en compétition pour valider toutes les dix minutes les nouveaux blocs de transactions, mais seul le premier qui retrouve le hash* cryptographique est rémunéré, actuellement 12,5 bitcoins. Si, jusqu'en 2017, la Chine était le pays concentrant la majorité des mineurs, le gouvernement a sonné le glas de cette activité, incitant ces derniers à relocaliser leurs activités ailleurs, notamment au Canada, en Russie, en Europe de l'Est ou encore en Islande.

L'émission de bitcoin est limitée à 21 millions d'unités, chacune étant divisible jusqu'à la huitième décimale. A la date de publication de ce livre blanc, en février 2020, quelque 18,3 millions de bitcoin sont déjà en circulation, et le dernier sera généré aux alentours de 2140.

Le réseau Bitcoin n'appartient à personne et la gouvernance pour faire évoluer le code source est parfois complexe. Le code source de Bitcoin étant libre, n'importe qui peut le reprendre, le modifier et l'utiliser. Mais l'intérêt de Bitcoin est d'être un réseau, et pour valider les transactions sur ce réseau, une communauté de mineurs doit participer à la validation des transactions. Pour faire évoluer le mécanisme de consensus du logiciel Bitcoin, il faut donc qu'une majorité de mineurs s'accordent sur la validité et l'intérêt d'une nouvelle version du logiciel. Ce mécanisme peut provoquer des tensions et parfois même une scission entre la version originale, portée par certains mineurs et une version modifiée, portée par d'autres. Cette scission en deux blockchains, appelée hard fork*, est à l'origine de nouvelles cryptodevises comme le Bitcoin Cash ou le Bitcoin Gold.



Les blockchains de deuxième génération

Un deuxième type de blockchain a été inventée en 2015 par Vitalik Buterin. Nommé Ethereum, ce protocole d'échanges décentralisés permet la création de « smart contracts* », qu'il convient de traduire en français par « contrats autonomes » ou, selon son inventeur, « *scripts persistants*¹ ».

Ces contrats autonomes permettent de vérifier et de mettre en application des accords mutuels qui sont enregistrés et consultables publiquement dans la blockchain Ethereum. L'intérêt de ces contrats est qu'ils sont répliqués dans tous les nœuds de la blockchain et que leur exécution autonome ne passe pas par un tiers de confiance pour en garantir l'exécution.

Ethereum utilise Solidity, un langage de programmation dit Turing-complet, parce qu'il permet de programmer l'ensemble des fonctions calculables au sens de Turing, à savoir quasiment toutes les fonctions que l'on connaît des langages de programmation modernes.

Autrement dit, si Bitcoin permet à deux personnes d'effectuer une transaction sans passer par un tiers de confiance, Ethereum et les blockchains de deuxième génération permettent d'effectuer des transactions plus complexes : par exemple, si un produit est livré, alors le paiement est enclenché.

Le contrat autonome permet à deux parties de se faire confiance sans se connaître : si le produit n'est pas livré, le paiement n'a pas lieu et dès que le produit est livré, le paiement a lieu automatiquement.

Parce qu'il n'y a pas d'organe central, on dit des blockchains qu'**elles permettent de distribuer la confiance à travers un réseau**, ou encore, qu'elle est une « *technologie du consensus*² ». Elles permettent à ses utilisateurs d'opérer des transactions plus ou moins complexes et de se faire confiance sans se connaître.

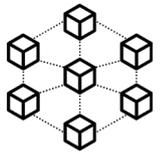
Chaque blockchain publique est inséparable de son jeton, et même si certaines blockchains privées fonctionnent sans jeton, il convient de comprendre quel actif numérique il peut représenter, quel type de jeton il existe et enfin, la manière dont ils sont émis.

Qu'est-ce qu'un actif, qu'est-ce qu'un jeton ?

Selon le lexique Dalloz des termes juridiques, un actif est, en droit civil, « *l'ensemble des biens et droits qui constituent le patrimoine d'une personne. Au sens strict, l'actif est l'excédent du patrimoine, une fois déduit le passif, qui détermine l'état de solvabilité, c'est-à-dire l'aptitude à faire face à ses dettes* ». En droit des affaires, un actif est « *l'ensemble des biens, mobiliers et immobiliers, des créances et sommes d'argent que possède une entreprise* ».

¹ @VitalikButerin, Twitter, October 13, 2018 : « *To be clear, at this point I quite regret adopting the term « smart contracts ». I should have called them something more boring and technical, perhaps something like « persistent scripts »* »

² Jacques Favier, <http://blog.lavoiedubitcoin.info/post/Office-Parlementaire>



Un actif, asset en anglais, est donc un bien et /ou un droit.

Puisqu'un actif désigne à la fois un bien et un droit patrimonial, nous pouvons nous référer à la classification juridique des biens pour les catégoriser. Les biens peuvent être différenciés, entre autres, selon qu'ils sont meubles ou immeubles, corporels ou incorporels, fongibles ou non fongibles ou encore liquides ou illiquides. Un actif peut désigner un bien meuble (un stock de grain) ou un bien immeuble (un terrain). Il peut désigner un bien corporel, matériel (un tableau, un tracteur) ou incorporel (un vote, une action).

Alors que les biens incorporels sont des droits sur des objets sans existence matérielle (comme l'usufruit) ou de l'argent (droit de créance) ou encore sur des objets sans support matériel (part sociale d'entreprise, droit d'auteur), les biens corporels, quant à eux, sont ceux que l'on peut saisir physiquement, ainsi que, par fiction légale, le droit de propriété qui y est attaché.

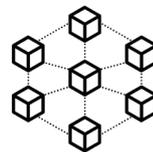
Une autre distinction consiste à différencier si l'actif est fongible ou non fongible, c'est-à-dire porter sur un « corps certain » ou une « chose de genre ». Un corps certain est unique et non fongible, comme le tableau d'un grand maître ou un terrain, alors qu'une chose de genre peut être remplacée par une autre identique, en quantité égale, un stock de grain, un poisson, de l'argent, de l'espace sur un disque dur.

Un actif financier est un titre ou un contrat, en général transmissible et négociable sur un marché financier, et qui est susceptible de produire, pour son détenteur, des revenus ou un gain en capital, en contrepartie d'une certaine prise de risque. Il peut notamment s'agir de valeurs mobilières, d'actions, d'obligations, de warrants, de titres de créances négociables, de créances etc.

Il est également possible de distinguer si l'actif est liquide ou illiquide. La liquidité d'un actif fait référence à sa propension à être rapidement et facilement convertie en monnaie fiat*. L'argent, par nature, est liquide. Par opposition, un actif illiquide est un bien qui ne pourra pas trouver un acheteur ou un investisseur dans un délai court. Un terrain, un immeuble, une usine.

Pour être échangés, certains de ces biens sont soumis à des procédures et un formalisme dont le rigorisme tient à l'importance des enjeux. Notamment les biens immeubles. En France par exemple, la vente d'un appartement, d'une maison ou d'un terrain fait l'objet de formalités légales, remplies par un officier ministériel, un notaire, qui procédera à la rédaction d'un acte authentique, de son enregistrement et de sa publicité légale.

Avant de répondre à la question de savoir si le jeton d'une blockchain peut être attaché à des biens meubles ou immeubles, corporels ou incorporels, fongibles ou non fongibles ou encore liquides ou illiquides, proposons une définition du mot jeton.



Qu'est-ce qu'un jeton, un token ?

Un jeton est la représentation numérique d'une fraction d'actif échangé en pair-à-pair *via* une blockchain. Les jetons « *peuvent être implémentés sur différentes couches techniques d'une blockchain : au niveau d'une blockchain en tant que jeton natif (blockchain-native tokens), ou en tant que protocole cryptoéconomique qui repose sur une couche technique au-dessus d'une blockchain (non-native protocol tokens), ou encore au niveau des applications ((d)App* tokens)³ »*. Le bitcoin est le jeton natif de la blockchain Bitcoin. L'Ether est le jeton* natif de la blockchain Ethereum. Le jeton d'une blockchain de consortium dont les transactions sont enregistrées sur la blockchain Ethereum et qui assure le suivi d'une denrée produite en Afrique et vendue en Allemagne, est aussi un jeton, mais non-natif.

Quel type d'actif est déjà ou pourrait être représenté par un jeton ?

Un jeton peut représenter tout type de valeurs mobilières et d'actifs incorporels, au premier rang desquels, l'argent, mais aussi un crédit carbone, un point de fidélité, un droit au dividende, un titre de propriété, un certificat, un diplôme, le droit d'usage d'un service etc. Lorsqu'il désigne un actif matériel, ce jeton peut représenter une fraction (ou la totalité) d'un tableau, d'un véhicule, d'un immeuble ou d'une maison ou encore d'un stock de grains, ou d'un poisson pêché en mer australe.

Les initiatives identifiées lors de la rédaction de ce livre blanc illustrent la diversité des actifs représentés par un jeton dont l'usage s'inscrit directement ou indirectement dans la poursuite d'un ou plusieurs Objectifs de développement durable.

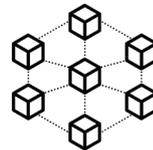
Citons notamment les services de conversion de devises légales en jetons afin d'être échangées à travers les frontières en quelques instants et pour des frais proches de zéro. Même si c'est en partie, et de manière symbolique, le vote des électeurs de l'élection présidentielle de 2018 en Sierra Leone a été représenté sous la forme de jetons avant d'être rapproché des résultats officiels.

En Géorgie, 1,5 millions de titres de propriété foncière sont sécurisés à travers une surcouche informatique dans la blockchain Bitcoin. L'investissement dans des projets d'agroforesterie faisant travailler de petits agriculteurs au Pérou et en Bolivie fonctionne à travers le TREE Token.

Dans le cadre d'un commerce international plus responsable, Austral Fisheries assure le suivi de la pêche et de sa filière d'approvisionnement dont l'activité même est représentée sous la forme de jeton.

En Équateur, une initiative similaire permet à FairChain de suivre le parcours du cacao depuis des fermes amazoniennes jusqu'aux points de vente. Représenter

³ The Token Classification Framework: A multi-dimensional tool for understanding and classifying crypto tokens.



un kilowatt-heure de production d'énergie verte par un jeton permet de garantir sa provenance et son mode de production, ainsi que son achat et sa revente à l'échelle locale, ouvrant la voie à l'autoconsommation collective.

Ben & Jerry's a créé un jeton environnemental pour compenser leur empreinte carbone en fléchant l'argent vers un programme de reforestation.

Quel type de jeton existe-t-il ?

Il est possible de différencier, à ce jour, quatre grands types de jetons :

- Les jetons associés aux blockchains de première génération, comme le bitcoin, et qui ne font référence qu'à la monnaie. Ce sont des cryptodevises dont le cours fluctue selon l'offre et la demande. Le bitcoin est l'exemple le plus connu, mais il existe de nombreuses autres cryptodevises comme le Zcash, le Monero ou encore le Litecoin.

- Le concept de jeton utilitaire (Utility Token) est né avec les blockchains de deuxième génération et les ICO*. Un jeton utilitaire est un jeton qui permet d'interagir et d'utiliser le service opéré par une blockchain. Par exemple, les jetons Ether sont utilisés pour activer les contrats intelligents* sur la blockchain Ethereum. Les blockchains EOS, Stratis, NEO ou encore Tron permettent également de créer des jetons utilitaires. En France, la loi PACTE instaure un cadre facultatif pour

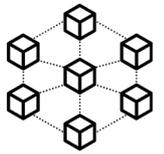
les levées de fonds par émission de jetons d'ICO.

- Ont ensuite été caractérisés les jetons représentant des valeurs mobilières, c'est-à-dire des actions, des obligations ou des contrats d'investissement, et qui génèrent un rendement financier assimilable à des titres financiers. Ces jetons financiers, en anglais Security Token, tombent sous le coup de la réglementation des titres financiers en vigueur dans le pays où ils sont émis. Aux Etats-Unis par exemple, l'émission sur le marché de Security Token, est encadrée par la Security Exchange Commission (SEC).

- Depuis le milieu de l'année 2018 se développe un autre type de jeton appelé « stablecoins ». Selon l'Autorité fédérale de surveillance des marchés financiers Suisse, la FINMA, un stablecoin a pour but, le plus souvent, « *de limiter la volatilité habituelle des prix des jetons de paiement (tels que le bitcoin) en couvrant le jeton par des actifs* ». Il existe plusieurs types de stablecoin, selon le type d'actif auquel il est adossé : à des devises fiat ou à un panier de devises⁴, comme le Libra de Calibra/Facebook, à des matières premières, à des valeurs immobilières ou encore mobilières.

L'un des principaux problèmes rencontrés avec les jetons liés à un actif du monde réel, un bien meuble corporel, un bien immeuble, est de savoir comment assurer une correspondance entre le jeton et le bien en question.

4 L'émergence des stablecoins dont la valeur est adossée à des monnaies souveraines comme l'euro, le dollar, le renminbi ou encore le yen pose la question délicate mais fondamentale de la souveraineté des monnaies, émises par les États et les banques centrales. Ainsi, les régulateurs européens, américains, mais aussi des États prennent la mesure de cette innovation financière et, pour certains pays, réfléchissent à l'établissement ou vont prochainement lancer une cryptodevises d'État, comme la Chine, ou émise par une banque centrale (Central Bank Digital Currency - CBDC).



La première réponse est juridique. Reconnaître un jeton comme la preuve de propriété d'un actif incorporel voire d'un actif matériel suppose d'abord une reconnaissance juridique des jetons, par la loi et par les tribunaux afin de les encadrer ou non, selon leur typologie. Les systèmes juridiques des États devront offrir un cadre réglementaire et les tribunaux, se prononcer sur d'éventuels litiges émanant de conflits entre émetteurs et récepteurs.

La seconde réponse tient au développement de l'internet des objets (Iot), qui permettrait de rendre des biens utilisables uniquement avec les clefs numériques correspondantes à ce bien.

Ou encore, des dispositifs techniques intégrés à la circulation de ces biens, qui suivent alors un tracé enregistré de manière automatique dans un registre distribué.

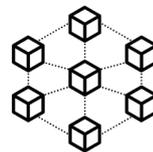
Comment les jetons sont-ils émis ?

Les jetons sont émis de différentes manières.

- Par la mise en œuvre d'un mécanisme de consensus, comme le minage par la preuve de travail (proof of work*) ou la preuve d'enjeu (proof of stake*).

- Par le biais d'un contrat intelligent*,
 - o lors d'une ICO lorsque des jetons utilitaires sont émis
 - o lors d'un STO lorsque ce sont des jetons financiers
 - o lorsqu'ils sont rattachés à un objet ou une chose (une marchandise, un

container, un poisson pêché en mer australe) relié à internet et dont des données seront automatiquement transmises et enregistrés dans une blockchain.



INITIAL COIN OFFERING ET SECURITY TOKEN OFFERING

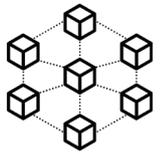
Une ICO, pour Initial Coin Offering est, pour une entreprise, une méthode de financement participatif reposant sur l'émission de jetons échangeables contre des cryptodevises, en général des bitcoins ou des Ether. Ces jetons, associés à la blockchain dont ils dépendent, pourront ensuite être échangés en pair à pair ou à travers des plateformes d'échanges selon un prix déterminé par l'offre et la demande. Selon le média d'information Coindesk, plus de 1 000 ICO ont permis de lever quelques 22,5 milliards de dollars depuis 2014.

	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Nombre d'ICO	7	7	43	343	650	1 050
Montant en M de \$	30	9	256	5 482	16 718	22 495

Source : coindesk.com/io-tracker

Les jetons, émis en nombre limité lors d'une ICO, ne correspondent pas à des parts du capital social de l'entreprise émettrice mais représentent, par exemple, un droit d'usage du service ou du bien développé par le projet blockchain ainsi financé. La majorité des jetons proposés lors d'une ICO sont des jetons dits utilitaires (Utility token) ((note)), et l'actif qu'il représente permet d'être échangé sur le réseau de la blockchain dont ils dépendent. Le marché des ICO est régulièrement dénoncé pour être sujet à la spéculation et parfois verser dans les escroqueries. Il n'empêche que les ICO permettent à n'importe quel individu disposant de cryptodevises d'investir dans des projets qu'il imagine prometteurs. Ce qui fait dire à Balaji Srinivasan, associé du fonds d'investissement Andreessen Horowitz que « *les ICO feront tomber la barrière entre investisseurs professionnels et acheteurs de tokens de la même façon qu'Internet a fait tomber la barrière entre journalistes professionnels d'une part, et blogueurs et utilisateurs de Twitter d'autre part* ».

Un autre type de token, dit Security token désigne un instrument financier et donne droit à une forme de participation dans l'entreprise. Parce qu'ils tombent sous le coup des réglementations nationales en vigueur concernant les titres financiers, conférant aux investisseurs une meilleure protection, ces jetons sont émis dans le cadre de STO, pour Security Token Offering ou encore Equity Token Offering. Aux Etats-Unis, les régulateurs américains, la SEC (Securities and Exchange Commission) qui régleme les valeurs mobilières et la CFTC (Commodity Futures Trading Commission) qui régleme les marchandises, appliquent le « Howey Test » pour qualifier la nature d'un jeton émis lors d'une levée de fonds en cryptodevises. Si le jeton (1) est un investissement (2) réalisé dans le cadre d'un projet commun, qui est raisonnablement susceptible de dégager des profits (3) et que ces derniers sont générés par les efforts d'entrepreneurs ou de managers tiers, et non par les investisseurs, alors, le jeton en question désigne un jeton financier, un Security Token, et doit se conformer aux lois fédérales américaines.



Repenser l'organisation et la gouvernance de nos activités

Le fonctionnement de nos sociétés modernes repose aujourd'hui très largement sur des intermédiaires ou sur la centralisation de l'information dont l'objet principal est de jouer ce rôle de tiers de confiance : banque, notaire, fichier des cartes grises, diplôme, cadastre etc. Ces tiers et ces registres centralisés existent pour sécuriser la validité des transactions et assurer la confiance entre les acteurs économiques et sociaux.

La complexification croissante de nos sociétés entraînent parfois des défaillances des tiers de confiance : manque de transparence, inégalité des accès, tant aux services qu'à l'information, manque d'intégrité liée à l'aléa humain (fraude, favoritisme etc.). Les blockchains apportent donc une contribution nouvelle en inscrivant au sein même de leur modèle les principes de validation, de transparence et de sécurité des transactions sans qu'un tiers de confiance n'en ait plus la charge.

A une échelle microéconomique, les blockchains questionnent plus largement la circulation de la richesse et la création de valeur. Ainsi, les blockchains et les jetons peuvent venir renforcer des systèmes d'économie circulaire et locale et opérer progressivement un changement de paradigme économique à une échelle macroéconomique.

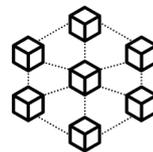
Les blockchains ouvrent ainsi des perspectives totalement inédites à ses

utilisateurs, particuliers, entreprises, organisations ou États. Elles peuvent être déployées dans tous les domaines de la vie, publique ou privée, marchande ou non.

L'engouement pour les blockchains suscite un intérêt croissant selon des approches métier très diverses de la part de leurs utilisateurs ou initiateurs : deux thèmes transverses nous semblent être au cœur de l'ensemble de ces initiatives, l'identité numérique et le transfert de valeur.

Les cas d'usages de projets blockchains s'invitent dans des domaines extrêmement variés, dont notamment, le fonctionnement d'un service public, l'organisation de l'État et de ses administrations, les transferts financiers, que ce soit entre particuliers ou entre entreprises, le transport, la logistique et la traçabilité des produits et des biens, l'agriculture, l'énergie, la santé, pas un domaine ne semble échapper à la mise en œuvre de prototypes et d'expérimentations blockchain, même si très peu de projets sont déjà déployés à grande échelle.

Dans tous les cas, les blockchains portent en elles les germes d'une horizontalité totalement étrangère à l'organisation hiérarchique et pyramidale de nos sociétés modernes. L'intelligence et la valeur ne sont plus au centre du réseau, et détenues par certains, mais à ses extrémités, et distribuées entre tous.



BLOCKCHAIN PUBLIQUE OU PRIVÉE ?

Les blockchains publiques sont aux blockchains privées ce que le réseau Internet est aux réseaux intranet. Alors que le réseau Internet est accessible à tout le monde, un réseau intranet ne le sera qu'à ceux qui le déploient. La différence fondamentale tient au mécanisme de consensus, qui permet de valider les transactions, et donc à l'immuabilité des données.

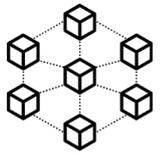
Ainsi, une blockchain publique, sans permission (permissionless blockchain) est ouverte à tous, sans restriction d'accès. Par nature totalement décentralisée, quiconque peut y effectuer des transactions, lire les transactions et tous ceux qui le souhaitent (et en ont les moyens) peuvent participer comme nœud de validation des transactions, et participer aux règles de fonctionnement du réseau et de la communauté. Cela signifie qu'aucune entité n'a le contrôle du réseau, ce qui garantit que les données ne peuvent pas être modifiées une fois enregistrées dans le registre public. Bitcoin, Ethereum ou en encore EOS sont les plus connues.

Une nuance intervient selon que les transactions d'une blockchain publique soient lisibles ou non par tous. Certaines blockchains publiques sont par nature axées sur l'anonymat de leurs utilisateurs. Monero ou encore ZCash sont deux blockchains publiques mais dont le contenu des transactions est anonymisé, de telle sorte que leur lisibilité sera privée.

Une blockchain privée, avec permission (permissioned blockchain) ou semi-privée, dite de consortium (semi-permissioned blockchain), opère quant à elle un contrôle d'accès restreignant ceux qui peuvent rejoindre le réseau, devenir un nœud de validation et effectuer des transactions. Une blockchain privée désigne donc une base de données décentralisée, de nouvelle génération, dont l'utilisation se limite à certains membres identifiés. Alors que les blockchains privées sont totalement contrôlées par une entité centralisée, chacun des membres devant être accepté par ce seul acteur, les blockchains de consortium distribue le mécanisme de validation des transactions à travers chacun des acteurs du consortium. Chaque partenaire possèdera un nœud du réseau et les transactions seront validées selon le mécanisme choisis, par exemple sur la base d'une majorité acquise au sein de ces membres.

Les organisations centralisées préfèrent ainsi les blockchains privées ou de consortium, qui exploitent le caractère décentralisé du réseau mais pour leurs propres opérations internes afin d'échanger des informations entre eux de manière sécurisée.

Les blockchains privées ont ainsi une ou plusieurs entités qui contrôlent le réseau.



Ripple est un exemple de blockchain de consortium.

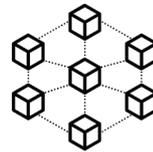
Une blockchain privée peut tout à fait rendre publique une partie des informations qu'elle contient, permettant ainsi à des tiers d'y lire des informations sans restriction d'accès. C'est notamment le cas des prototypes de blockchains privées déployées par le groupe de grande distribution Carrefour pour la traçabilité de certains produits alimentaires labélisés, auquel le consommateur accède avec un smartphone.

Une confusion fréquente consiste à penser que l'accès aux données d'une blockchain publique est public et que l'accès aux données d'une blockchain privée est restreint. Or, il n'en est rien.

Peut-être serait-il préférable de parler de blockchain ouverte et de blockchain fermée, comme l'explique Victor Gosselin de chez Ownest, une entreprise blockchain dont l'objet est de tracer les responsabilités sur une chaîne logistique. *« Parler de blockchain ouverte plutôt que de blockchain publique retranscrit davantage une réalité tangible où l'accès n'est pas conditionné par l'obtention d'une autorisation de la part d'un régulateur de la blockchain ».* Il existerait donc des blockchains ouvertes, semi-ouvertes et fermées, même si, pour les puristes, seules les premières ont un réel intérêt et peuvent se revendiquer être de « véritables blockchains ».

Cependant, il ne s'agit pas pour autant d'opposer systématiquement les blockchains ouvertes ou publiques et les blockchains privées ou fermées. En effet, de nouvelles technologies émergent afin d'hybrider les deux types de blockchains, notamment pour parer aux problèmes de scalabilité des blockchains publiques comme Bitcoin ou Ethereum. La technologie dite de « layer two », également appelée « hors chaîne » (off-chain) a pour objet d'augmenter les capacités de transaction d'une blockchain publique tout en conservant les avantages de la décentralisation d'un protocole distribué.

Le « Lightning Network » est une solution de Layer 2 fonctionnant sur le protocole Bitcoin. Il s'agit d'un protocole de paiement qui fonctionne au-dessus du protocole Bitcoin et qui permet d'accélérer les temps de transaction entre les nœuds. Le fonctionnement du Lightning Network consiste à ouvrir un canal de paiement sur une blockchain publique, alors appelée Layer 1, en l'occurrence Bitcoin pour le Lightning Network. Une fois ce canal de paiement ouvert sur la blockchain principale, les acteurs vont opérer entre eux autant de transactions que souhaitées. Ce canal de paiement peut rester ouvert quelques heures ou plusieurs mois. L'inscription dans la blockchain publique ne se fera qu'à la fermeture du canal de paiement, en inscrivant le solde final de la transaction entre les acteurs ayant ouvert ce canal de paiement.



...ET SES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ?

Pourquoi certaines blockchains publiques sont-elles si énergivores ?

Comme l'explique Gérard Berry, informaticien, professeur au Collège de France et médaille d'or 2014 du CNRS, le postulat de la sécurité informatique est le suivant : « *toute attaque informatique est imaginable (...) Un système est sûr non pas quand il est inattaquable – ce qui est théoriquement impossible –, mais quand ça coûte trop cher de l'attaquer* ». Voilà le principe sur lequel s'appuie la sécurité des blockchains publiques dont le mécanisme de consensus repose sur le minage par la preuve de travail.

Pour sécuriser les transactions opérées sur une blockchain publique, certains nœuds du réseau, appelés les mineurs, sont en compétition pour valider chaque nouveau bloc de transaction. Ils mettent à la disposition du système leur puissance de calcul informatique pour résoudre un problème mathématique complexe.

Cet algorithme de consensus, appelée validation par « preuve de travail » (proof-of-work), consiste en la réalisation d'une tâche fortement consommatrice en énergie, traduite en puissance de calcul.

Andreas M. Antonopoulos, figure emblématique de la communauté bitcoin, explique ainsi que « *pour décrire le minage [par la preuve de travail], on pourrait utiliser l'exemple d'un gigantesque concours de sudoku où les participants recommencent une nouvelle grille dès que quelqu'un trouve une solution, et dont la difficulté s'ajuste pour qu'en moyenne une grille soit résolue toutes les dix minutes*¹ ».

Sur la blockchain Bitcoin, les ordinateurs participant au minage sont en compétition pour valider, toutes les dix minutes, les nouveaux blocs de transactions, mais

seul le premier qui résout le problème mathématique complexe est rémunéré, actuellement 12,5 bitcoins.

C'est de cette manière que sont créés les nouveaux bitcoins, dont le nombre, prévu dès l'origine dans le code source du logiciel, est limité à 21 millions d'unités.

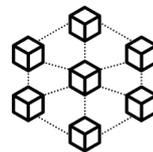
Les enjeux sécuritaires et environnementaux sont intrinsèquement liés

La dépense énergétique du bitcoin n'est imputable ni aux coûts de la surveillance des transactions ni à la gestion de la blockchain à proprement parler, mais, comme l'explique le mathématicien Jean-Paul Delahaye, « *au mode de distribution des bitcoins émis toutes les 10 minutes, et plus précisément encore, au concours entre les nœuds du réseau qui désigne toutes les 10 minutes le gagnant des bitcoins émis et des commissions associées aux transactions*² ».

Ainsi, ce qui se révèle être le talon d'Achille de Bitcoin est, paradoxalement, la raison même pour laquelle les transactions en bitcoins sont sécurisées : pour modifier

¹ « Mastering Bitcoin », Andreas M Antonopoulos, O'Reilly, January 20, 2015.

² « La folie électrique du Bitcoin », Jean-Paul Delahaye, Pour la Science, N°484, février 2018.



un bloc de transactions à l'insu de tous, il faudrait en effet qu'un pirate mobilise, à lui tout seul, plus de 51 % de la puissance de calcul de tous les mineurs, ce qui, au regard de la dépense énergétique actuelle, s'avère impossible.

Selon le rapport de l'Office parlementaire publié le 4 avril 2018, « le minage du bitcoin exigeait 28 milliards de *milliards de calculs par seconde, sa traduction en termes de consommation énergétique varie sensiblement selon les modes de calculs : de 20 TWh/an (Bloomberg) à 140 TWh/an (MorganStanley), en passant par 60 TWh/an (Digiconomist)*³ ».

Il convient toutefois de relativiser le calcul cette dépense énergétique pour deux raisons.

La première, c'est que les calculs pour deviner la consommation énergétique du Bitcoin sont peu précis, parfois irréalistes, et souvent repris tel quel par la presse et les médias. Il est ainsi possible de lire que « *la consommation d'énergie électrique de la cryptomonnaie pourrait dépasser celle de l'ensemble des pays du monde en 2020*⁴ ».

Ces affirmations sont largement démenties, notamment par Jonathan Koomey, chercheur et enseignant à l'Université Stanford, spécialiste du climat et des effets des technologies sur l'environnement qui explique que « *la méthode utilisée [...]*

est totalement non-fiable, aucun analyste crédible ne l'utiliserait en matière de calcul énergétique (...) C'est une minuscule, minuscule fraction de l'ensemble de l'électricité utilisée par les data centers⁵ ». Marc Bevand, ingénieur français, développeur informatique, ancien spécialiste de la sécurité informatique chez Google, a publié une autre étude portant sur le coût énergétique du minage du Bitcoin et aboutit à un constat différent. Selon ce dernier, la consommation énergétique du Bitcoin en 2016 s'est située entre 4,12 et 4,73 TWh/an, soit 0,0208 à 0,0239 % de la consommation électrique mondiale. Ses estimations les plus hautes pour l'année 2018 seraient de 27,47 TWh/an, soit 0,13 % de la consommation électrique mondiale⁶.

La seconde raison tient du biais de présentation des résultats. Si « le réseau Bitcoin consomme autant d'électricité qu'un pays comme l'Islande », nous pourrions aussi dire qu'il « *utilise moins d'électricité que les décorations lumineuses de Noël dans le monde, à propos desquels les seuls Etats-Unis dépensent chaque année 6,63 TWh/an*⁷ ».

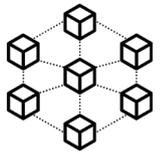
La très importante consommation énergétique nécessaire à la validation des transactions sur le réseau Bitcoin est à questionner par rapport à l'intérêt de sécuriser un système d'échange de valeur en pair à pair sans organe central.

³ « Comprendre les blockchains : fonctionnement et enjeux de ces nouvelles technologies », Rapport n° 584 (2017-2018), Valéria FAURE-MUNTIAN, député, MM. Claude DE GANAY, député et Ronan LE GLEUT, sénateur, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 4 avril 2018.

⁴ Alex de Vries, fondateur de Digiconomist.net.

⁵ Jonathan Koomey, Koomey.com/post/179556571967

⁶ « Electricity consumption of Bitcoin: a market-based and technical analysis », Marc Bevand, Blog.zorinaq.com, March 10, 2017.



De plus, de nombreuses alternatives sont à l'œuvre afin d'améliorer l'efficacité énergétique du minage par la preuve de travail d'une part, mais également pour faire évoluer le mécanisme de consensus permettant de valider les transactions.

Du minage adossé à des énergies fossiles au « minage vert »

Dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, la consommation d'énergie nécessaire à la sécurisation des transactions opérées sur des blockchains publiques utilisant la preuve de travail est particulièrement problématique lorsque l'électricité provient d'énergies fossiles et polluantes.

La Chine, où le coût de l'électricité est particulièrement faible, a incité dès 2013 de nombreux investisseurs nationaux à installer des fermes de serveurs dédiées au minage de cryptodevises sur son territoire. À tel point qu'en juillet 2017, une étude de l'université de Cambridge estime qu'il se minait en Chine 58 % des bitcoins dans le monde. À partir de novembre 2017, les autorités du pays ont freiné le développement de ces installations en incitant les gouvernements provinciaux à limiter la consommation d'énergie utilisée pour miner ces cryptodevises.

Depuis, les mineurs implantent leurs installations dans d'autres pays, notamment au Canada, en Islande, en Autriche, en Russie ou en Europe de l'Est, par exemple en Biélorussie, là où le prix de l'électricité reste abordable par rapport aux

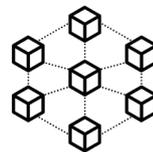
exigences du réseau. Au Canada, Hydro-Québec, l'un des plus grands producteurs mondiaux d'hydroélectricité et principal producteur d'électricité du pays se voit ainsi obligé de refuser toute sollicitation émanant de nouvelles fermes de minage, tant la demande de celles-ci a augmenté ces dernières années.

Au fur et à mesure que les blockchains s'institutionnalisent, leur consommation énergétique devient un sujet à propos duquel de nouvelles solutions émergent.

Deux leviers sont actuellement mis en œuvre : d'une part, l'utilisation d'une énergie renouvelable pour le minage des blockchains publiques s'appuyant sur la preuve de travail et d'autre part, le développement de mécanismes de consensus moins énergivores et garantissant le même niveau de sécurité du système.

Citons notamment l'entreprise de minage HydroMiner, créée en 2017, et qui utilise une énergie hydroélectrique produite dans les Alpes autrichiennes pour miner plusieurs cryptomonnaies parmi lesquelles bitcoin, Ether, Zcash ou encore Dash ou Siacoin.

Soluna Technologies, entreprise américaine contrôlée par la société de capital investissement Brookstone Partners, prévoit de construire une centrale éolienne de 900 MW au Maroc, à Dakhla, dans le Sahara occidental, uniquement dédiée au minage de cryptomonnaies. Selon John Belizaire, DG de Soluna,



cité par Reuters, « *la première phase des travaux devrait débuter en 2019 et portera dans un premier temps sur 36 mégawatts*⁸ ».

Les mineurs font preuve d'imagination pour optimiser le coût d'extraction des cryptomonnaies et la dépense énergétique y correspondante. Située à 350 mètres de profondeur à l'intérieur de la mine de Lefdal en Norvège, la ferme de minage Northern Bitcoin, fondée en 2015, est située à côté d'un fjord profond qui fournit le refroidissement nécessaire aux installations informatiques.

Le second levier consiste à faire évoluer le mécanisme de consensus permettant de valider et sécuriser les transactions sur une blockchain publique.

Evolution des algorithmes de consensus

Une alternative consisterait à s'appuyer sur d'autres mécanismes de consensus qui remplacerait celui de la preuve de travail pour valider les transactions opérées sur une blockchain publique.

Citons notamment le mécanisme de validation des transactions appelé « preuve d'enjeu », ou « preuve de participation » (proof of stake*), mais dont la mise en œuvre n'a pas encore été implémenté sur une blockchain majeure.

La preuve d'enjeu est un mécanisme de consensus qui demande à l'utilisateur de « *prouver la possession d'une certaine quantité de cryptomonnaie pour prétendre pouvoir valider des blocs supplémentaires dans la blockchain et pouvoir toucher la récompense, s'il y en a une, à l'addition de ces blocs*⁹ ».

Ce mécanisme de consensus consiste à résoudre un défi informatique appelé minting (monnayage), opéré par des « forgeurs ». Il ne nécessite pas de matériel informatique puissant et consomme peu d'électricité. Le forgeur met en dépôt une certaine quantité de cryptodevises et recevra une récompense lorsqu'il valide un bloc de transactions. Si le forgeur procède à une attaque informatique en insérant de faux blocs de transactions dans la blockchain, la communauté, à partir du moment où elle s'en rend compte, pourrait l'évincer, ce qui entraînerait la perte des dépôts de l'attaquant.

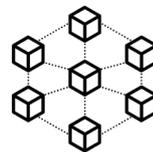
Vitalik Buterin, cofondateur d'Ethereum explique ainsi que : « *la philosophie de la preuve d'enjeu résumée en une phrase n'est donc pas "la sécurité vient de l'énergie dépensée", mais plutôt "la sécurité vient des pertes économiques engendrées par une attaque"*¹⁰ ».

Nombreux sont ceux qui considèrent que le mécanisme de consensus reposant sur la preuve d'enjeu pourrait résoudre le problème écologique posé par le mécanisme de la preuve de travail mis

8 « Blockchain firm Soluna to build 900MW wind farm in Morocco », Ahmed Eljehtimi, Af.reuters.com, August 9, 2018.

9 « A Proof of Stake Design Philosophy », Vitalik Buterin, medium.com/@VitalikButerin, December 30, 2016.

10 « A Proof of Stake Design Philosophy », Vitalik Buterin, medium.com/@VitalikButerin, December 30, 2016.



en œuvre sur des blockchains publiques. Depuis 2015, c'est devenu la première priorité de la blockchain Ethereum dont le passage de la preuve de travail* à la preuve de participation* devrait intervenir avant la fin de l'année 2020¹¹.

Il est à noter que les blockchains privées ne s'appuient pas sur la preuve de travail pour valider les transactions entre les participants, mais sur des algorithmes de consensus dont le fonctionnement ne repose pas sur une dépense énergétique.

Citons notamment la « preuve d'autorité », Proof of Authority. L'intégrité des transactions sur ces réseaux blockchain est assurée par certains nœuds appelés « validateurs » qui exécutent un logiciel leur permettant de regrouper les transactions en blocs et les valider.

Il existe également d'autres algorithmes de consensus comme par exemple le « Practical Byzantine Fault Tolerance » (PBFT - Tolérance des fautes byzantines), où certains nœuds du réseau, appelés les notaires, ont pour seul objectif de résoudre les tentatives de double dépense. La décision d'accepter ou non la transaction est basée sur le vote de tous les notaires et permet de tolérer qu'un 1/3 des nœuds envoient de fausses transactions.

Ces algorithmes de consensus ont tous pour particularité de résoudre le problème énergétique de la preuve de travail.

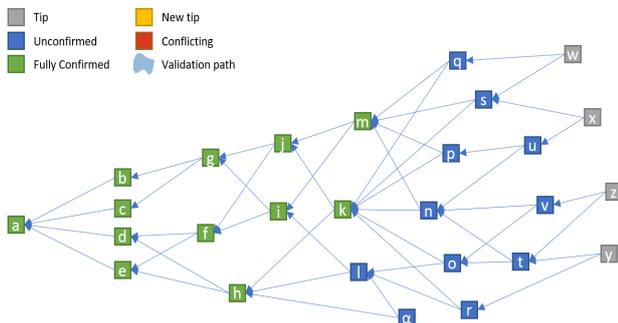
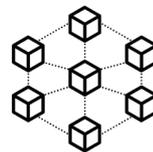
Une blockchain de troisième génération

Lancée en octobre 2015, IOTA est une cryptodevise et un protocole open source qui opère un réseau décentralisé reposant sur un système d'intégrité des données. Ce protocole de paiement a été spécifiquement conçu pour fournir une solution sécurisée et sans frais, pour la monétisation de données entre les appareils appartenant à l'Internet des objets, (IoT*) tels que les smartphones, drones, tag RFID*, capteurs et actionneurs, tous les objets « parlant le protocole Internet ». Ce qu'une blockchain « traditionnelle » ne peut pas faire.

Son fonctionnement technique est différent des précédentes générations de blockchains puisqu'il se fonde sur une technologie utilisant le concept de graphe dirigé acyclique (DAG), et dont l'infrastructure décentralisée s'appelle le Tangle (entrelacs/enchevêtrement). Alors que les transactions en bitcoin sont regroupées en bloc, validées par des mineurs, les transactions en IOTA sont à la fois indépendantes et en même temps toutes reliées entre elles à travers ce réseau « entrelacé ».

Le Tangle repose sur les mêmes principes qu'une blockchain : une base de données distribuée, un réseau pair-à-pair ainsi qu'un mécanisme de consensus.

¹¹ « Ethereum Plans to Cut Its Absurd Energy Consumption by 99 Percent », Peter Fairley, Spectrum.ieee.org, January 2, 2019.



IOTA Tangle : Chaque carré dans ce schéma¹² représente une transaction en cours d'envoi. Pour chaque nouvelle transaction, deux transactions aléatoires non confirmées sont validées dans le Tangle. Chaque validation d'une transaction augmente la probabilité qu'elle soit authentique, jusqu'à être confirmée.

L'émetteur d'une transaction en IOTA vérifie deux anciennes transactions sur le réseau par la résolution d'un problème cryptographique. La difficulté du mécanisme de consensus reposant sur la preuve de travail* est suffisamment faible pour pouvoir être exécutée par des ordinateurs personnels ou par des téléphones, soit par l'expéditeur, soit par le destinataire.

Ainsi, chaque transaction nécessitant la vérification de deux transactions précédentes, toutes sont reliées les unes aux autres dans le réseau.

Plus il y a de transactions, plus les opérations sont traitées rapidement car plus il y a d'entrelacements entre elles. 2,7 milliards de jetons* IOTA ont été émis dès l'origine du projet de sorte que les jetons

n'ont pas besoin d'être minés. En plus de proposer des transactions sans frais, l'architecture technique de IOTA répond à une problématique de montée en charge (scalabilité) que ne savent pas encore résoudre les blockchains de première et deuxième génération. Les transactions sont confirmées en un laps de temps très court et, théoriquement, le nombre de transactions simultanées gérées par le réseau serait illimité.

Depuis quatre ans, les expérimentations s'appuyant sur IOTA se multiplient et suscitent d'ores et déjà l'intérêt d'industriels de renom parmi lesquels Volkswagen, Microsoft, Samsung ou encore Fujitsu.

En avril 2018, des tests dans le secteur de l'énergie ont eu lieu aux Pays-Bas ; les étudiants d'un campus peuvent recharger leur voiture électrique grâce à l'énergie solaire d'une borne conçue par la société néerlandaise ElaadNL, tout en effectuant leur paiement en IOTA¹³.

Les frais de transactions sont inexistants, la voiture est automatiquement reconnue, le paiement se fait instantanément.

En France, en septembre 2018, Engie a signé un accord de principe avec IOTA pour développer des innovations autour des écosystèmes intelligents d'énergie (smart energy ecosystem).

¹² <https://github.com/nononymous/iota-consensus-presentation>

¹³ « World's first IOTA Smart Charging Station », Harm van den Brink, Blog.iota.org, April 19, 2018.

MÉTHODOLOGIE

Notre interrogation de départ est la suivante :

Parmi la multitude de projets initiés ces dernières années, quelles blockchains, ouvertes ou fermées, s'attachent à la poursuite d'un ou plusieurs Objectifs de développement durable, tels que définis par l'ONU ?

Quel rôle pourraient jouer les blockchains dans la réalisation de ces objectifs ?

Comment les blockchains pourraient-elles permettre de les atteindre plus rapidement et plus efficacement ?

La difficulté de cette étude repose à la fois sur la jeunesse des blockchains et des projets qui en émergent, mais également sur la transversalité des Objectifs de développement durable qui sont tous étroitement liés, « *le succès de l'un dépendant souvent de la résolution de problématiques généralement associées à un autre objectif* ».

Il nous a paru cependant essentiel de s'intéresser dès aujourd'hui, à l'apport que pourraient constituer les blockchains dans la poursuite des Objectifs de développement durables. Pour cette première étude, nous avons listé les 100 premières blockchains publiques et indiqué, pour chacune d'elle, si elle participait, de manière directe ou indirecte à un ou plusieurs Objectifs de développement durable.

Puis, partant des 17 Objectifs de développement durable, nous avons réalisé une veille informationnelle nous permettant de répertorier plus de deux cents projets, concepts et annonces d'organisations publiques, non gouvernementales ou privées, qui déploient une solution blockchain ouverte ou fermée.

Nous avons identifié **neuf domaines clés** adressés à travers ces projets au sein desquels les blockchains impactent directement ou indirectement notre capacité à atteindre les objectifs de développement durable à l'horizon 2030 :

1. L'identité numérique ;
2. La circulation monétaire ;
3. La sécurisation du foncier ;
4. L'agriculture durable
5. L'accès à la santé ;
6. Les énergies renouvelables
7. La consommation responsable ;
8. La traçabilité des matières premières ;
9. Le fonctionnement des administrations publiques.

Pour compléter notre analyse qualitative, nous nous sommes appuyés sur deux études en particulier. « Blockchain for Social Impact », menée par le Centre pour l'innovation sociale de la Stanford Graduate School of Business et de RippleWorks, portant sur 150 organisations, initiatives et projets qui mobilisent les blockchains dans une dynamique d'impact social. La seconde étude, « Building Block(chain)s for a Better Planet » du World Economic Forum, qui identifie 65 cas d'usages

« où la blockchain peut être appliquée aux défis environnementaux les plus pressants du monde, ainsi que huit « game changers » où la technologie pourrait fondamentalement perturber les systèmes et les approches actuels ».

Fort de ce matériau, et pour les besoins de cette première édition, nous avons organisé ce livre blanc autour de cinq grandes thématiques liées à l'argent

programmable, à l'efficacité des services publics, à l'émergence d'un commerce responsable et durable, au développement de nouveaux modes de production et consommation d'énergies renouvelables, et enfin à l'impact des blockchains sur le climat.



ARGENT

PROGRAMMABLE ET

DÉVELOPPEMENT

DURABLE



ARGENT PROGRAMMABLE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

L'argent est un ensemble de règles communes pour échanger de la valeur. Comme l'explique Olivier Rocca, CEO de Money by design, « *une monnaie est un instrument mono-usage au sens où il s'agit essentiellement d'un instrument de paiement passif qui est déplacé en fonction des échanges* ». Adossée à une blockchain, l'argent devient programmable, car suivant le type de jeton mis en œuvre, des règles informatiques précisent quand et comment la valeur peut être échangée. Le système monétaire est alors reconfiguré en permettant une programmation de la monnaie en vue de son usage, de ses fonctionnalités et de ses objectifs. Par exemple, l'acheteur d'un stock de grain effectuera le paiement lorsque le stock sera effectivement livré. Parce que l'argent devient programmable, non seulement de nouveaux services s'inventent, mais en plus, des services existants s'adressent différemment : échange d'argent en pair-à-pair, traçabilité des aides au développement, du donateur jusqu'au bénéficiaire, lutte contre la corruption, inclusion financière, crowdfunding d'impact, la diversité des applications n'a de limite que l'imagination de leurs concepteurs.

Le caractère programmable de l'argent renouvelle fondamentalement notre représentation de la monnaie. Pour la première fois de l'histoire, un jeton* et un protocole assurent une fonction d'intermédiaire des échanges sans s'appuyer sur le moindre intermédiaire garantissant sa liquidité, au premier rang desquels les États et les banques.

Les monnaies programmables, par leur nature distribuée, bouleversent en profondeur la manière dont n'importe quelle organisation gère, traite et transfère des fonds.

Au-delà du « simple » transfert d'argent, les blockchains trouvent des applications dans quatre grands domaines directement liés aux Objectifs de développement durable : l'investissement à impact social (impact investing), l'économie durable et les monnaies complémentaires (sustainable development economy and

currency), l'inclusion financière (financial inclusion) et les collectes de fonds, aides et charité (fundraising, aid and charity).

L'investissement à impact social

L'investissement à impact social est défini comme « *un investissement qui allie explicitement retour social et retour financier sur investissement*¹ ». Il s'agit de proposer à des investisseurs, qu'ils soient particuliers ou entreprises, de financer des projets aux impacts sociaux ou environnementaux positifs.

TREE Token, fondé en janvier 2018 par Tristan Lecomte et Boris Vallee en est une illustration. TREE Token est une plateforme qui permet d'investir dans des projets d'agroforesterie en partenariat avec des organisations de petits agriculteurs, actuellement au Pérou et en Bolivie. Les fonds sont investis dans la plantation d'arbres et de cultures

¹ Comité français sur l'investissement à impact social.



combinées, dont l'exploitation génère une source de revenus pour les agriculteurs, un rendement financier pour le détenteur du jeton* mais également de multiples impacts positifs sur le climat, les sols, l'eau, la biodiversité.

L'ensemble des transactions est enregistré dans une blockchain permettant à chacun de suivre concrètement l'impact de leur contribution et le retour sur leurs investissements.

Autre exemple actuellement mis en œuvre en Afrique du Sud ou encore en Moldavie, The Sun Exchange est une place de marché qui permet à ses membres d'acheter, dans le cadre de contrats de vingt ans, des cellules solaires qui sont ensuite louées à des écoles, des hôpitaux, des usines et d'autres utilisateurs finaux. Alors que les membres perçoivent une rémunération en bitcoin, en SolarCoin ou encore en monnaie fiduciaire*, les consommateurs d'énergie des projets solaires bénéficient d'une électricité abordable, sans frais d'achats initiaux, et paient leur consommation d'électricité solaire en remplacement de celle utilisée à travers des générateurs diesel et toutes autres sources d'énergies polluantes.

The Sun Exchange s'occupe de la co-conception des projets solaires avec des entreprises locales, de l'accompagnement juridique et contractuel, ainsi que de la collecte et de la location du matériel. Toutes les interactions sont enregistrées via une blockchain,

permettant ainsi une transparence totale entre les investisseurs, les projets et les consommateurs d'électricité.

Monnaies complémentaires

Impak Finance est, à ce jour, l'un des projets les plus aboutis dans le domaine des monnaies complémentaires.

Une monnaie complémentaire est un outil permettant de flécher les achats des particuliers vers des commerces répondant à des critères de durabilité et stimuler ainsi une économie responsable d'un point de vue social et environnemental, en relocalisant les approvisionnements à travers des circuits courts, et en stimulant les pratiques durables dans les entreprises et chez les particuliers².

En septembre 2017 Impak Finance a organisé la première ICO* réglementée au Canada et levé 1 414 860 dollars canadiens à travers 2 266 investisseurs répartis dans 89 pays : 1 690 626 Impak Coin (MPK) sont actuellement en circulation.

Le jeton* « fusionne les avantages et les fonctionnalités des monnaies complémentaires, des programmes de récompenses et des nouvelles monnaies virtuelles décentralisées », avec pour objectif d'encourager les entreprises à s'inscrire dans un modèle à impact positif, tout en récompensant l'utilisation d'Impak Coin auprès de ces commerces responsables.

² « Le numérique au secours des monnaies locales et complémentaires », Bénédicte Martin, Netcom, 18 décembre 2018, consulté le 22 juillet 2019. <http://journals.openedition.org/netcom/3000>



Pour l'utilisateur, l'application Impak permet d'acheter des produits et des services auprès d'entreprises et de commerces répondant aux critères sociaux et environnementaux définis par Impak et permet de procéder à des paiements pair-à-pair, de gagner des intérêts en prêtant à des entrepreneurs d'impact grâce aux microcrédits, aux prêts participatifs et aux prêts de pair à pair et d'effectuer la conversion d'Impak Coin en devises nationales, à moindre coût.

Le recours à une blockchain permet de se passer d'intermédiaire dans les transactions entre particuliers et commerçants. Ces transactions ne prennent que quelques secondes pour être validées et il n'y a pas de frais. Les nouveaux jetons* Impak Coin sont créés à chaque transaction effectuée dans l'écosystème, entre autres, sous forme de récompense remise à l'utilisateur. Cette blockchain ne nécessite ainsi pas de mécanisme de consensus énergivore, comme celui de la preuve de travail opérée avec le bitcoin.

Autre exemple, Grassroots Economics est une fondation à but non lucratif qui développe et met en œuvre des programmes de monnaies communautaires dans les quartiers défavorisés des grandes villes d'Afrique de l'Est et Centrale, et notamment au Kenya.

En 2010, Grassroots Economics a lancé son premier programme de monnaie

communautaire, appelé Sarafu-Credit³, d'abord dans les quartiers défavorisés de Mombasa et de Nairobi au Kenya, avant de s'étendre à quatre autres communautés locales. Aujourd'hui Sarafu-Credit est utilisé par plus de vingt écoles et 1 000 entreprises de proximité, et vise à favoriser le commerce local et satisfaire les besoins essentiels, tels que l'accès à la nourriture et le paiement des frais de scolarité.

Jusque récemment, cette monnaie communautaire prenait la forme de billets en papier, circulant à côté de la monnaie nationale, le shilling kenyan. Les monnaies communautaires créent ainsi un moyen d'échange stable lié au développement local et contourne ainsi l'instabilité économique et la rareté de l'argent liquide. Depuis juin 2018, Grassroots Economics a fait évoluer son système de monnaie papier vers une blockchain en utilisant le protocole et le réseau Bancor⁴.

Bancor est un service basé sur la blockchain Ethereum permettant l'échange décentralisé de jeton* (appelés DEX*, pour Decentralized Exchange) reposant sur des smart contracts* et des « Atomic Swap* ».

Un Atomic Swap permet à deux personnes qui ne se connaissent pas d'échanger des jetons* sans intermédiaire et sans avoir besoin de se faire confiance. Si l'un d'eux ne respecte pas son engagement et n'envoie pas les jetons*, alors l'autre personne sera remboursée de son envoi grâce à une protection inscrite dans un smart contract*.

³ Sarafu veut dire « monnaie » swahili.

⁴ En référence à « Bancor », mot proposé par l'économiste Keynes, et refusé par les Etats-Unis, pour décrire une monnaie servant d'étalon monétaire international lors de la conférence de Bretton Woods en 1944.



L'intérêt du réseau Bancor est d'apporter de la liquidité à des jetons* dont l'offre et la demande sont faibles. Si les bitcoin ou les Ether n'ont pas de problème de liquidité, parce que de très nombreux acheteurs et vendeurs se rencontrent sur des plateformes d'échange, ce n'est pas le cas de milliers de jetons* dont l'efficacité locale peut être très forte pour le petit nombre d'utilisateurs mais dont les échanges à l'échelle mondiale sont extrêmement faibles. Le protocole Bancor permet ainsi de convertir des jetons* entre eux plutôt que devoir les échanger sur une plateforme traditionnelle d'échange de jetons*. En juin 2017, Bancor a réalisé une ICO* leur permettant de lever l'équivalent de 153 millions de dollars en seulement quelques heures.

D'un point de vue financier, le réseau Bancor et son fonctionnement via Atomic Swap* pourrait être comparé au rôle des banques centrales qui détiennent des réserves de devises. Exception faite que les échanges de jetons* se réalisent de pair-à-pair, sont sécurisés et ne passent par aucun intermédiaire, pas même une plateforme d'échange.

Bernard Lietaer, disparu le 4 février 2019, était un économiste et universitaire belge, professeur à l'université de Berkeley et cofondateur de l'Euro. Spécialiste des questions monétaires internationales, il fut l'un des plus grands promoteurs des monnaies complémentaires comme outil de résilience économique et territoriale. Soutien de la première heure du réseau

Bancor, il le définissait ainsi : « *l'idée principale est de permettre aux utilisateurs d'émettre des devises complémentaires à la condition que le jeton* émis détienne une ou plusieurs réserves, telles que des devises numériques ou conventionnelles, ainsi que d'autres actifs. Cela permettra à toute devise utilisant ce protocole d'être échangée contre toute autre devise faisant partie du « panier de réserve », sans avoir besoin d'une contrepartie pour le faire*⁵ ».

Pour une fondation à but non lucratif comme Grassroots Economics, l'intérêt d'utiliser le réseau Bancor est ainsi de pouvoir offrir une bien meilleure liquidité aux monnaies communautaires créées localement, en permettant à leur détenteur non seulement de les utiliser à l'échelle locale, mais également de les convertir dans n'importe quel autre cryptodevises, bitcoin, Ether ou autre jeton* ainsi qu'en monnaie fiduciaire*.

Inclusion financière

L'inclusion financière met en lumière les limites du système financier traditionnel face aux personnes non bancarisées : des frais de transactions élevés et une solvabilité limitée les empêchent d'avoir accès aux institutions financières existantes. De plus, l'impossibilité de prouver son identité constitue un obstacle récurrent auquel font face ces populations en difficulté. Selon le Groupe #ID4D Global Dataset de la Banque mondiale, plus d'un milliard de personnes dans le monde ne

⁵ « Bernard Lietaer, un guerrier de la justice financière qui s'est battu pour la liberté de la monnaie », Supportiv.com, 7 février 2019.



disposant d'aucune preuve officielle de leur identité, ne peuvent accéder ni à la téléphonie ni ouvrir un compte bancaire. De plus, l'absence de tenue d'un registre de la propriété foncière, en particulier sur les territoires des pays en crises ou en développement, empêche les personnes défavorisées de faire valoir leur droit pour bénéficier de crédit. Cette situation les rend souvent tributaires de la corruption et de l'usure de la part de ceux contrôlant ou ayant accès aux services financiers.

De nombreuses expérimentations reposant sur une blockchain tentent d'adresser des solutions opérationnelles pour l'inclusion financière, en proposant à ces populations, par exemple, une identité numérique rattachée à des services financiers.

Citons notamment Humaniq, une société Fintech située à Londres qui fournit des services financiers aux personnes non bancarisés à travers une application mobile basée sur une blockchain : déjà téléchargée plus de 200 000 fois⁶, l'application s'appuie sur des composants d'identification biométrique permettant d'accéder à une messagerie sécurisée et un portefeuille numérique qui permet d'effectuer de petites transactions avec des frais proches de zéro. Après une ICO leur ayant permis de lever 5,1 millions de dollars en avril 2017, l'application a d'abord été lancée en Ouganda, au Sénégal, au Zimbabwe, en Tanzanie et au Rwanda, avant d'être proposée au Kenya, en Côte d'Ivoire, au Botswana et au Ghana.

L'identité des bénéficiaires ne correspond pas aux standards d'identification traditionnels mais s'appuient sur des technologies d'identification biométrique leur permettant ainsi d'utiliser l'application de manière sécurisée.

D'autres startups choisissent de s'appuyer sur des organisations non gouvernementales pour déployer leur offre de services basés sur une blockchain.

C'est le cas de l'initiative Arcadia Blockchain Technologies, basée en Suisse, qui s'appuie sur la blockchain Ethereum. Arcadia permet aux Organisations Non Gouvernementales et aux organisations humanitaires de mettre en place des places de marché pair-à-pair, accessibles via un portefeuille sans identité (identity-less wallet) délivrés aux personnes préalablement identifiées par l'Organisation Non Gouvernementale. Ces solutions permettent de fournir des services financiers accessibles tout en responsabilisant les bénéficiaires dans l'usage qu'ils font de l'aide humanitaire.

Ces solutions ouvrent ainsi des ponts pour une transition efficace de la gestion de crise (aide humanitaire) à la reconstruction (aide au développement), répondant aux enjeux identifiées dans l'« Agenda pour l'humanité », proposé dans le cadre du Panel de Haut Niveau de l'ONU, et trente des plus grands donateurs et acteurs humanitaires.

⁶ <https://blog.humaniq.co/>



En effet, les données de 2015 du Programme alimentaire mondial (PAM) et du Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (UNHCR) montrent que les transferts monétaires vers les bénéficiaires de l'aide humanitaire coûteraient 24% moins chers que le transport et la distribution de l'aide en nature. Une fois identifiés via une blockchain et équipés d'un wallet* électronique, les bénéficiaires de l'aide peuvent alors utiliser des services reliés à d'autres programmes, faire appel à des prestataires de services tiers via des smart contracts*, accéder à des services de change entre la cryptodevise et la monnaie fiduciaire* en cours localement (notamment en cas de déplacements de population), bénéficier de services de prêts pair-à-pair, de suivi et de souscription de dons ainsi qu'à des services de micro-assurance.

En 2012, selon Ban Ki-moon, alors 8^e Secrétaire général des Nations Unies, la corruption des différents intermédiaires aurait empêché 30% de toute l'aide au développement d'atteindre sa destination finale. De plus, les frais de transaction et la rapidité à laquelle parviennent les fonds collectés auprès des populations aidées constituent un défi majeur que le recours aux blockchains semble résoudre : des transactions rapides, à frais très réduits et dont les flux sont tracés au plus près.

Collecte de fonds et charité internationale

Les séismes du 12 et 20 janvier 2010 à Haïti ont fait quelque 280 000 morts, 300

000 blessés et 1,3 million de sans-abris. La mobilisation de l'aide internationale, provenant de particuliers, d'entreprises et d'États a permis de récolter 1,2 milliards de dollars de promesses de dons au 19 janvier 2010, puis 7,8 milliards de dollars en juin et 9,9 milliards de dollars en novembre 2010. Mais dix mois après, seulement 4 milliards de dollars sur les 18,0 au total auraient été utilisés par les centaines d'Organisations non gouvernementales présentes sur place, avec parfois des usages et des résultats controversés, ayant encore aujourd'hui, pour certains, des impacts négatifs sur la résilience économique de la zone.

Ces difficultés à tracer les dons et leurs usages ont motivé l'émergence de solutions où les fonds collectés pour une cause et/ou par une organisation sont enregistrés et suivis grâce à l'usage de blockchains.

AidCoin, soutenu par Charity Stars, un site américain de vente aux enchères en ligne qui reverse 85% de leurs revenus à des organismes caritatifs, s'est donné pour objectif de devenir un organisme de bienfaisance entièrement adossé à la blockchain publique Ethereum.

AIDChain est une plate-forme offrant un écosystème de services connectant la communauté des organisations à but non lucratif pour leur permettre une transparence totale et une traçabilité des dons. Ces derniers utilisent un widget* sur leur site web, AIDPay, qui est une passerelle de paiement leur



permettant d'accepter des dons dans différentes crypto-devises qui sont ensuite instantanément convertis en AidCoin. Les dons sont ainsi suivis par le biais de smart contracts* déployés sur Ethereum, permettant de garantir que les aides sont allouées et dépensées conformément au mandat et au programme de l'organisation.

Pour Federico Malvezzi, le directeur général d'AidCoin, « *les contrats intelligents sont utilisés pour que, si certaines conditions prédéterminées ne sont pas remplies, les donateurs récupèrent leurs dons ou soient en mesure de les rediriger vers des causes plus méritantes ou pressantes*⁷ ». Citant l'exemple d'une association caritative en Afrique qui construit une école, « *ils ne recevront les fonds pour payer la main-d'œuvre qu'après avoir acheté la terre et acheté les fournitures et le matériel fourni pour construire l'école.* »

Helperbit est une startup italienne qui offre une transparence dans les secteurs des dons en utilisant la technologie blockchain. La plate-forme permet aux gens de faire un don de cryptomonnaies et de devises

locales à des organisations caritatives et à des personnes dans le besoin partout dans le monde, de retracer leurs dons et leurs utilisations, en offrant une transparence totale des flux économiques intermédiaires.

Tracer les programmes d'aide alimentaire

Devery, une entreprise blockchain, collabore avec le Programme alimentaire mondial des Nations Unies ainsi que le ministère tunisien de l'Éducation pour mettre en place une blockchain permettant le suivi d'un programme de repas scolaires. Un premier déploiement permet de nourrir 1 500 enfants d'écoles primaires, l'objectif étant de déployer le programme à destination des 400 000 écoliers défavorisés recevant actuellement une aide alimentaire⁸.

Le recours à une blockchain vise à suivre, en temps réel, la livraison des repas et faire remonter tout aussi rapidement d'éventuels dysfonctionnements sur le terrain.

⁷ « Comment la blockchain est utilisée pour rendre les organismes de bienfaisance plus transparents », Helen Bennicke, Coinrivet.com/fr, 4 janvier 2019.

⁸ « Devery & United Nations World Food Programme use Blockchain to ensure the safe delivery of food to children in North Africa », Andrew Rasheed, Medium.com/devery-io, April 4, 2018.

LE TRÈS RENTABLE MARCHÉ DU TRANSFERT D'ARGENT ENTRE PARTICULIERS

L'utilisation d'une blockchain sur le marché du transfert d'argent entre particuliers est une bonne illustration de l'utilisation du réseau Stellar pour faire évoluer un marché captif et coûteux pour les utilisateurs.

La Banque mondiale estime que les envois de fonds officiellement enregistrés vers les pays à revenu faible et intermédiaire ont atteint 466 milliards de dollars en 2017 et s'élève, si l'on comptabilise également les envois à destination des pays à revenu élevé, à 613 milliards de dollars en 2017¹. À l'échelle mondiale, le coût moyen d'un transfert de 200 dollars était de 7,1 % au premier trimestre de 2018, soit plus du double de la cible de 3 % fixée dans la cible 10.c des Objectifs de développement durable². L'Afrique subsaharienne reste la région vers laquelle les transferts sont le plus onéreux, avec un coût moyen de 9,4 %. Selon l'ONG Overseas Development Institute, les frais de transferts d'argent vers l'Afrique coûtait près de deux milliards de dollars par an en 2014³. Le transfert d'argent entre particuliers *via* une blockchain fait disparaître les commissions excessives de ces intermédiaires. Le jeton* Lumen (voir Focus Stellar à la page d'après) est directement converti en monnaie fiduciaire locale par des banques partenaires, la compensation ainsi que le règlement des transactions transitant par un réseau unique opéré par IBM.

Alors qu'un transfert d'argent, assujéti à une commission calculée en pourcentage, passe par de nombreux intermédiaires et prend aujourd'hui plusieurs jours, une transaction entre particuliers *via* cette blockchain ne coûte que quelques centimes et est validée en quelques minutes.

¹ « Des niveaux record d'envois de fonds vers les pays à revenu faible et intermédiaire en 2017 », Banque mondiale.org, 23 avril 2018.

² Idem.

³ « Lost in intermediation : How excessive charges undermine the benefits of remittances for Africa », Kevin Watkins and Maria Quattri, odi.org, April, 2014.

Focus : le réseau Stellar et Stellar.org

Le réseau Stellar est une infrastructure de paiement distribuée, libre d'utilisation et open source, fondé en 2014 par Joyce Kim et Jed McCaleb, également le co-fondateur de Ripple.

C'est un réseau de paiement rapide, transfrontalier, à faible frais et accessible à tous. Depuis 2015, le jeton* permettant d'opérer ces transactions financières sur le réseau Stellar s'appelle le Lumen, en référence à la lumière qui circule dans l'univers.

Le code source de l'infrastructure de paiement est maintenu et développé par Stellar.org, une organisation à but non lucratif créée à cette fin. Elle contribue au développement informatique de l'infrastructure de paiement mais également d'outils techniques tournés vers l'inclusion financière.

Des sociétés tierces s'appuient sur le réseau Stellar pour opérer des services financiers transfrontaliers : micro-finance ; micro assurances ; prêt pair-à-pair ; transferts monétaires conditionnel ; système de dons pour les organismes à but non lucratif ; monnaies communautaires ; banques de temps ; applications mobiles ATM (at the moment) ou humaines, la liste des services que permet d'opérer le réseau Stellar semble sans limite.

Et les partenaires sont au rendez-vous. Pour n'en citer que quelques-uns, Coins.ph aux Philippines, TransferTo opérable partout dans le monde, SureRemit aux Niger, TEMPO en Allemagne et en France vers des pays en développement, ClickPesa en Tanzanie. Tous opèrent des services de paiements transfrontaliers rapides et à faible coût en utilisant le réseau Stellar.

Coins.ph, œuvrant aux Philippines, est un fournisseur de services financiers mobiles à destination des personnes non bancarisés, leur permettant d'effectuer des transactions rapides et à frais très réduits, de l'ordre de quelques centimes d'euros.

TransferTo est un réseau mondial de paiement mobile transfrontalier qui interconnecte des opérateurs de transfert d'argent, des opérateurs d'argent mobile, des fournisseurs de portefeuilles mobile, des banques, des institutions financières, des Organisations Non Gouvernementales et des marchands e-commerce pour faciliter les transferts d'argent internationaux en temps réel vers

et depuis les marchés émergents – le tout via une seule connexion API* et un cadre global de conformité (one global compliance framework). Le réseau mondial de la société s'étend à travers plus de 70 pays, collabore avec plus de 200 partenaires et propose des transferts d'argent pair-à-pair, des versements massifs d'entreprise (corporate mass payouts) et des services de paiement marchand.

SureRemit est une société nigériane d'envoi d'aides non monétaires. Elle s'appuie sur le réseau Stellar pour connecter directement des nigériens expatriés avec des commerçants locaux qui fournissent les services dont leurs proches ont besoin. Le jeton* Remit permet ainsi de tracer les transactions auprès de marchands sous forme de bons d'achats numériques.

TEMPO est un service de transfert d'argent entre particuliers basé à Paris et en Allemagne qui permet de transférer de l'argent vers 105 000 points de paiement répartis dans 55 pays dont notamment les Philippines, le Bangladesh, l'Inde, le Sri Lanka, le Pakistan, le Maroc et le Sénégal. Les clients peuvent envoyer des virements internationaux depuis l'Europe à travers un e-wallet* Stellar en ligne, ou en se rendant dans les sites TEMPO répartis à travers 270 agents en Allemagne et en France. Les transactions sont effectuées sur le réseau Stellar.

Sur le même modèle, ClickPesa en Tanzanie facilite les paiements transfrontaliers par le biais de différents canaux en Afrique.



SYNTHÈSE

Comme le note Yorick de Momyne et Gonzague Grandval, « *avec toutes les technologies issues de Bitcoin, la monnaie devient programmable, ce qui ouvre une nouvelle ère de décentralisation des institutions et d'autonomie pour les individus¹* ».

Les monnaies programmables trouvent des applications concrètes dans quatre grands domaines directement liés aux Objectifs de Développement Durable : l'investissement à impact social (*impact investing*), l'économie durable et les monnaies complémentaires (*sustainable development economy and currency*), l'inclusion financière (*financial inclusion*) et les collectes de fonds, les aides et la charité (*fundraising, aid and charity*).

De manière générale, le principal intérêt principal d'une blockchain publique est d'offrir une architecture technique permettant des échanges pair-à-pair entre des utilisateurs non-identifiés, sans avoir recours à une autorité de confiance.

¹ Yorick de Momyne et Gonzague Grandval. (Voir Bibliographie > Rapports)

POUR ALLER PLUS LOIN - LES QUESTIONS SOULEVÉES

Comment résoudre les inégalités d'accès aux infrastructures et équipements numériques et au réseau Internet qui permettraient une adoption à grande échelle d'applications blockchain à destination des populations les plus défavorisées ?

La validation des transactions sur une blockchain implique des frais de traitement, dont le cours dépendra de nombreux facteurs. Comment résoudre cette incapacité à prévoir des frais qui varient constamment ?

Le protocole Bitcoin permet de valider sept transactions par seconde, le protocole Ethereum, vingt transactions par seconde.

Même si certains procédés permettent d'accroître la rapidité des transactions

sur ces blockchains publiques, il n'est pas encore possible de projeter une utilisation massive de cryptodevises.

La volatilité des cours, le faible débit, la confidentialité insuffisante et le manque de gouvernance posent des questions dont la plupart ne trouveront de réponse que dans la pratique.

Facebook projette de lancer au premier semestre 2020, le token Libra, stable coin adossé à des monnaies fiat. Quel rôle va jouer une cryptodevise gérée par un conglomérat d'entreprises privées ? Alors que le propre d'une blockchain publique est justement de se passer de tiers de confiance pour opérer des transactions en pair-à-pair, comment interpréter la venue de Facebook et ses partenaires, dont la confiance est fortement mise à mal,

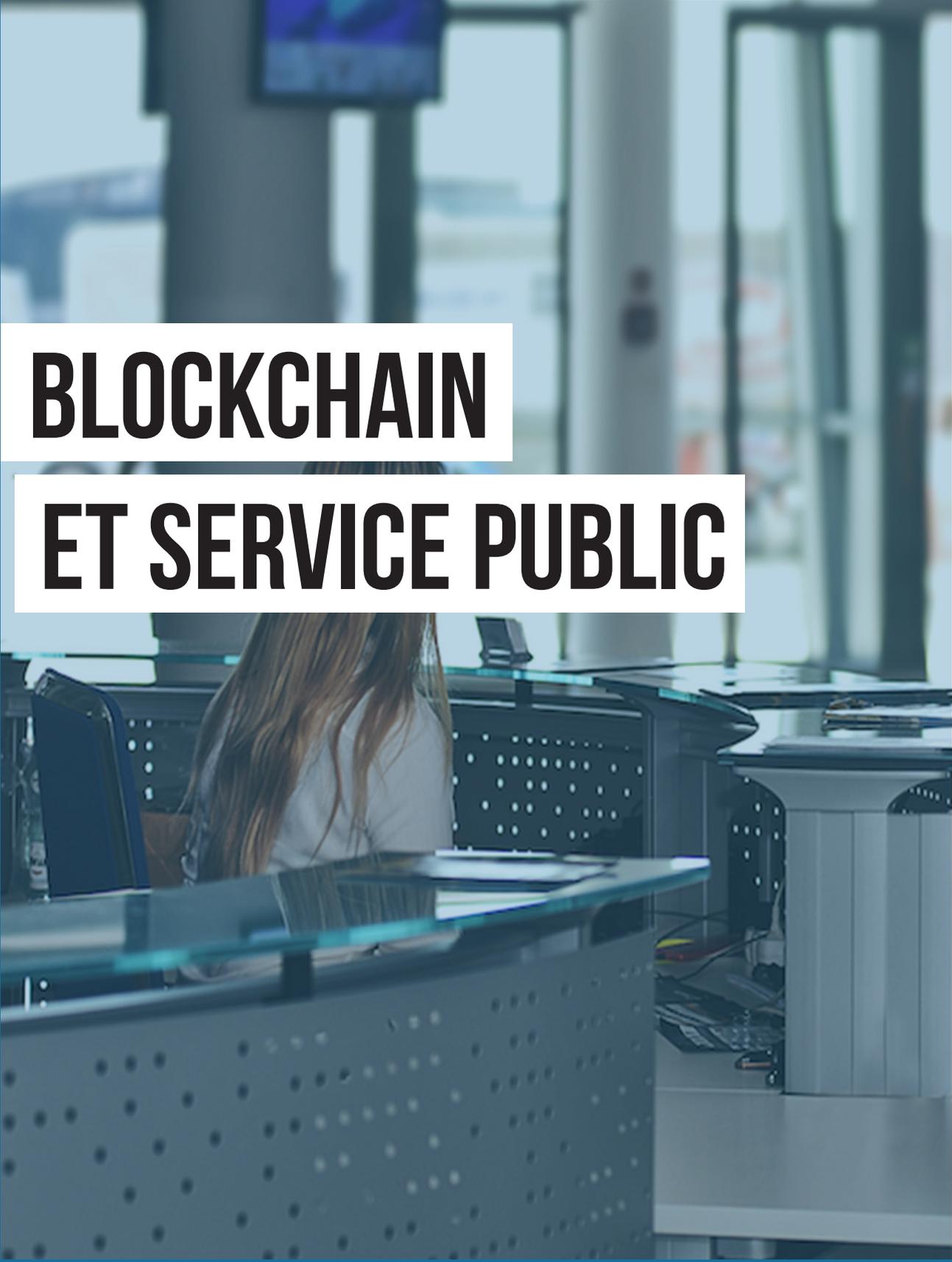


notamment depuis l'affaire Cambridge Analytica, pour mettre en place une cryptodevise ? D'autant plus que cette cryptodevise sera en concurrence avec celle qui va probablement être lancée prochainement par un conglomérat de banques centrales.

Si les protocoles blockchains permettent d'outrepasser un organe central, qui aurait le plein contrôle du dispositif, il faut plus y voir l'invention de nouvelles formes de gouvernance que la pure et simple disparition de tout organe central. Car en effet, si l'acteur central, qui permettait de garantir la confiance au moment de la

transaction vient à disparaître, d'autres fonctions dont il avait la charge vont probablement se déplacer en périphérie, en se répartissant sur différents acteurs dont les rôles seront à définir.

Puisque l'usage d'une blockchain résulte de l'interaction de divers acteurs, en amont et en aval d'une activité ou même concurrents les uns des autres, de nouveaux modes de gouvernance obligent les acteurs à jouer le jeu d'une « coopération » – à la fois coopération et compétition – à laquelle peu sont familiers.



BLOCKCHAIN

ET SERVICE PUBLIC



POUR DES SERVICES PUBLICS PLUS EFFICACES

L'identité des personnes joue un rôle central dans la société. Une société qui respecte et protège la vie privée de ses citoyens permet de faire face à l'irréversible porosité entre la vie privée et la vie publique. L'identité est également un vecteur d'accès à la vie qu'une société développée offre à ses citoyens : vote, santé, éducation, consommation responsable etc.

L'identité numérique s'inscrit au cœur de la transversalité des Objectifs de développement durable, tout en constituant une cible à part entière, en lien avec l'identité juridique¹, parce qu'elle est le pivot à travers lequel les personnes et les organisations s'inscrivent de plain-pied dans une société toujours plus locale et globale en même temps.

L'identité numérique concerne tout à la fois les personnes « sans identité », comme dans le cas des réfugiés, mais également les habitants des pays industrialisés dont l'identité numérique et les données personnelles s'y rattachant fondent sont au cœur du modèle économique de grandes entreprises globales.

Dans les pays en développement, l'identité numérique est le premier pas vers l'inclusion. Sans identité, pas de compte bancaire, donc pas de commerce ni de crédit ni d'aides au développement sans intermédiaire. Sans identité, peu ou pas d'accès aux soins, si ce n'est ceux d'urgence, fournis lors de catastrophes. Sans identité, pas de scolarisation des enfants. Sans identité, pas de vote, ni d'accès à la justice. Sans identité, pas de propriété, d'une maison ou d'un terrain agricole.

Selon la banque mondiale, 1/7 de la population mondiale, soit plus de 1,1 milliards de personnes sont aujourd'hui dans cette situation, principalement en Afrique et en Asie. Et parmi ces personnes « invisibles », « *plus d'un tiers sont des enfants qui n'ont pas été déclarés à leur naissance*² ».

Mais l'identité numérique est également devenue un sujet crucial dans les pays développés où quelques plateformes numériques, emmenées par les GAFAM et toutes les entreprises inspirées par le modèle de l'exploitation massive des données (big data), conçoivent leurs produits et services sur l'analyse des données personnelles de leurs utilisateurs, à leur insu, à des fins publicitaires.

Les utilisateurs des moteurs de recherche et des réseaux sociaux ne sont pas les clients de ces services mais bien leurs produits. La monétisation des données personnelles et la revente des interactions de chacun sont devenues le modèle d'affaires d'innombrables organisations qui explorent des domaines aussi variés que ceux de la santé, de l'éducation, du travail, ou encore de la consommation.

¹ Cible 16.9: D'ici à 2030, garantir à tous une identité juridique, notamment grâce à l'enregistrement des naissances.

² « Accès pour tous à une identité numérique d'ici 2030 : les dirigeants africains, le Groupe de la Banque mondiale et les partenaires se mobilisent », Banque mondiale.org, 25 septembre 2018.



La promesse des blockchains appliquées à l'identité numérique consiste à sécuriser l'accès aux informations personnelles d'un individu dans un registre distribué afin de permettre à tout un chacun d'en maîtriser l'usage qui en est fait. De nombreuses entreprises-blockchains s'intéressent de près à la question de l'identité numérique parmi lesquelles Civic, SelfKey, uPort, BlockID, ERC725, The Sovrin Foundation ou encore Gravity.

Citons également ID2020, un partenariat public-privé à but non lucratif fondé en 2014 par John Edge et financé par la Fondation Rockefeller. Depuis 2017, une alliance portant spécifiquement sur la cible 16.9³ des Objectifs de développement durable, a été créée pour rassembler les gouvernements, les organisations des secteurs public et privé, dont notamment Accenture, Microsoft, Mercy Corps et Hyperledger.

Cette alliance a pour objet de mettre en place une approche synchronisée des initiatives relatives à l'identité numérique,

en permettant à leurs membres de travailler de concert tout en coordonnant le financement de projets à fort impact.

Financé par ID2020, iRespond.org en est un exemple. En partenariat avec l'International Rescue Committee, iRespond a pour objectif d'offrir une plateforme d'identité numérique aux quelque 35 000 personnes déplacées du camp de Mae La en Thaïlande. Le projet combine identité biométrique et blockchain et permet à ses bénéficiaires, d'accéder non seulement à des services de santé, mais aussi de conserver en toute sécurité des diplômes d'études et des titres professionnels.

L'identité d'une personne correspondant à une clef privée associée à la reconnaissance de l'iris, « *iRespond ne recueille, ne stocke, ni met à disposition aucune information personnelle identifiable ou information personnelle sur la santé. L'ID numérique agit uniquement pour valider que l'individu scanné est bien celui qu'il prétend être*⁴ ».

³ D'ici à 2030, garantir à tous une identité juridique, notamment grâce à l'enregistrement des naissances un.org/sustainabledevelopment/
⁴ irespond.org

Le projet e-résidence est un programme lancé le 1^{er} décembre 2014 par le gouvernement de l'Estonie, et qui permet à des entrepreneurs n'ayant pas la nationalité estonienne de bénéficier d'une identité numérique.

L'intérêt pour un entrepreneur ? A travers cette identité numérique, celui-ci peut accéder à des services en ligne et notamment, établir une entreprise estonienne en ligne, administrer l'entreprise depuis n'importe où dans le monde, effectuer des opérations bancaires

et des transferts d'argent à distance, accéder aux fournisseurs de services de paiement en ligne, signer numériquement des documents et des contrats, vérifier l'authenticité des documents signés ou encore chiffrer et transmettre des documents en toute sécurité.



Le programme s'inscrit, depuis 2001, dans la bascule numérique de ce petit pays de 1,3 millions d'habitants vers un modèle dont l'organisation de l'administration publique a entièrement été repensée autour de ses citoyens.

Il est intéressant de noter le chemin accompli depuis le projet Safari¹ en France – révélé en 1974, qui consistait à interconnecter les données personnelles des administrés autour d'un identifiant unique, et qui donna naissance en 1978, pour s'y opposer, à la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL).

Aujourd'hui, les blockchains offrent la possibilité de repenser les relations entre les administrations publiques d'un Etat et ses citoyens où la maîtrise des données personnelles, par tout un chacun, devient un enjeu de premier ordre. D'ailleurs, il n'est pas possible d'interpréter la réussite d'un programme numérique comme celui de l'Estonie sans percevoir combien le citoyen a été placé, dès l'origine, au centre du fonctionnement d'un tel projet.

Lorsqu'un citoyen s'adresse aux services d'une administration publique, les mêmes informations lui sont toujours demandées : nom, prénom, adresse, date de naissance, pièce d'identité, carte de sécurité sociale, attestation de l'employeur, justificatif de domicile etc.

En réalité, chacune de ces administrations publiques disposent de leurs propres

bases de données qui cependant ne communiquent ni entre elles, ni avec des tiers. La philosophie de la plateforme X-Road, déployée par l'Estonie, est de permettre à toutes ces bases de données de communiquer entre elles, faisant ainsi gagner du temps au citoyen, mais également aux administrations elles-mêmes.

La plateforme X-Road permet à des systèmes d'information disséminés dans de multiples administrations d'échanger des données authentifiées, de manière sécurisée et décentralisée.

Aujourd'hui, quelque 1 800 services administratifs estoniens s'appuient sur un seul registre distribué et X-Road se targue d'économiser l'équivalent de 800 ans de travail (administratif) chaque année.

Ce programme a été lancé par le gouvernement estonien dans les années 1990 pour créer un environnement sécurisé et standardisé pour l'interopérabilité gouvernementale, permettant un échange sécurisé de données entre les systèmes d'information des différentes administrations.

La première version a été développée par Cybernetica et lancée en 2001. Arnaud Chastagnet, responsable des relations publiques du programme e-residency, explique que chaque Estonien peut savoir très précisément qui consulte ses données personnelles, et la raison pour laquelle ces données sont consultées².

¹ Système automatisé pour les fichiers administratifs et le répertoire des individus

² <https://e-resident.gov.ee/>



Lorsqu'elles circulent entre les différentes administrations, les données sont signées électroniquement et chiffrées. Lorsqu'un Estonien utilise le service numérique d'une administration, les données sont authentifiées et enregistrées de manière totalement sécurisée. Par exemple lorsqu'un enfant naît, son numéro d'identité est automatiquement généré et transmis aux différents services de l'Etat, au point que, lorsqu'il aura l'âge d'entrer à l'école, la plateforme pourra même signaler à l'Education Nationale que l'enfant doit y être inscrit.

En 2011, l'Estonie a décidé de faire évoluer la plateforme X-Road vers un registre distribué de type blockchain privée*, renforçant ainsi la sécurité du système qui auparavant reposait sur des bases de données centralisées : il est dorénavant impossible pour quiconque de modifier les données d'un citoyen à son insu mais surtout, de les consulter sans son accord ou sans qu'il ne soit informé.

En octobre 2017, l'Estonie a engagé un partenariat entre le programme e-residency et Bitnation, un projet open source et décentralisé alimenté par la blockchain Ethereum, et dont l'objectif est *« de favoriser un système de gouvernance participatif, volontaire et virtuel, en progrès sur le modèle actuel de l'État-nation, rénovant les notions de frontière, de taille de la population et de l'appartenance par la naissance³ »*.

En s'authentifiant grâce à leur identité d'e-resident, les utilisateurs ont la possibilité d'utiliser un service de notariat, appelé Public Notary, et de signer des contrats commerciaux. Kaspar Korjus, directeur du programme e-Residency explique que *« les services de la blockchain n'ont une vraie valeur que si l'identité des auteurs qui ont inscrit quelque chose sur les maillons est authentifiée ; on sait que les personnes ayant souscrit à un contrat enregistré sur la blockchain de Bitnation sont bien ceux qu'ils prétendent être car pour accorder l'e-résidence, l'Estonie vérifie l'identité et fait une vérification des antécédents⁴ »*.

Ces contrats sont donc opposables et admis en tant que preuve devant un tribunal, qui admet déjà les mails ou les accords verbaux pour prouver l'existence d'un contrat entre deux personnes.

Aujourd'hui, la plateforme X-Road est aussi implémentée en Finlande, en Azerbaïdjan, en Namibie et dans les Îles Féroé. Depuis juin 2017, un accord a été signé entre l'Estonie et la Finlande. Les deux pays échangent automatiquement des données sur des registres commerciaux, l'état civil, l'assurance maladie et des données maritimes.

3 « Bitnation, Pangea Jurisdiction and Pangea ArbitrationToken(PAT)The Internet of Sovereignty », White Paper, Susanne Tarkowski Tempelhof, Eliott Teissonniere, James Fennell Tempelhof et Dana Edwards, April, 2017.

4 Republic of Estonia. E-Residency, <https://e-resident.gov.ee>



QU'EST-CE QUE L'IDENTITÉ AUTO-SOUVERAINE ?

Le concept d'identité auto souveraine (*self-sovereign identity*) s'inspire de celui d'autodétermination informationnelle, que la cour constitutionnelle allemande définissait en ces termes dans l'arrêt EuGRZ du 15 décembre 1983 : « *Si l'individu ne sait pas prévoir avec suffisamment de certitude quelles informations le concernant sont connues du milieu social et à qui celles-ci pourraient être communiquées, sa liberté de faire des projets ou de décider sans être soumis à aucune pression est fortement limitée* ».

Le concept d'auto détermination informationnelle appliqué à celui de l'identité revient à dire que « *pour les individus, ce droit à l'autodétermination implique qu'ils puissent avoir accès à ces données, qu'ils puissent les lire, les modifier, les effacer, choisir ce qu'ils veulent en faire ; mais aussi qu'ils puissent décider des services qui y ont accès*¹. » Chaque individu est maître de ses données et décide qui y a accès : On parle de « *données auto-gérées / self-managed data* ». Cette approche théorique de l'identité multi facettes s'est toujours heurtée à la réalité technique des bases de données centralisées. Face aux nombreux scandales et failles de sécurités des grandes entreprises du web, des entreprises se sont positionnées comme « *vendor relationship management* » (VRM) - l'équivalent des Customer Relationship Management (CRM) pour les individus. Si l'idée peut paraître séduisante, ces VRM deviennent cependant de nouveaux intermédiaires centralisant, détenteurs des données personnelles des individus.

Les blockchains permettent, pour la première fois, d'envisager un système d'identité multi-facette où les informations de chacun seraient sécurisées dans une base de données distribuée, où non seulement les informations seraient cryptées, mais où les « *transactions* » – c'est à dire l'autorisation de la part d'un individu de donner accès à telle ou telle facette de son identité numérique, fonctionneraient avec un système de clefs publiques et de clefs privées. Une identité numérique auto-souveraine ne serait donc pas émise par un Etat, mais pourrait être reconnue par celui-ci. Les informations concernant l'identité d'une personne seraient stockées et sécurisées dans une blockchain à laquelle accéder par le biais d'une application web qui permettrait de donner l'autorisation à un tiers, - banque, agent de police lors d'un contrôle routier, médecin lors d'une consultation etc.

¹ « *Ambition numérique : pour une politique française et européenne de la transition numérique* », Yann Bonnet, Benoit Thieulin, Somalina Pa, Valérie Peugeot, Conseil national du numérique (CNUM), 18 juin 2015.



Sécuriser et gérer l'accès au foncier

L'accès au foncier, la preuve de son identité et l'opposabilité d'un titre de propriété sont des rouages fondamentaux de l'inclusion des personnes dans la société. En effet, l'actif foncier représente souvent, pour les plus défavorisés, la seule contrepartie recevable, pour non seulement accéder à des services financiers, mais également témoigner de leur identité.

Selon les données de la Banque mondiale de septembre 2019¹, 734.5 millions de personnes vivent en dessous du seuil de pauvreté internationale, fixé à 1,90 dollar par jour², et l'écrasante majorité des personnes vivant en-dessous du seuil de pauvreté absolue appartient à deux régions : l'Asie du Sud et l'Afrique subsaharienne.

La cible 4 du premier des Objectifs de développement durable vise à faire en sorte que, « d'ici à 2030, tous les hommes et les femmes, en particulier les pauvres et les personnes vulnérables, aient les mêmes droits aux ressources économiques et qu'ils aient accès aux services de base, à la propriété foncière, au contrôle des terres et à d'autres formes de propriété, à l'héritage, aux ressources naturelles et à des technologies et des services financiers adéquats, y compris la micro-finance³ ».

L'accès à la propriété et la sécurisation du foncier concernent également directement l'égalité des sexes (ODD5), afin que des réformes visent à donner aux femmes les mêmes droits que les hommes.

Plus largement, l'importance de politiques non-discriminatoires doit être soulignée au regard des Objectifs de développement durable⁴.

Comme exprimé lors de la 18e conférence annuelle de la Banque mondiale sur la terre et la pauvreté en mars 2017, « les droits fonciers sécurisés sont importants pour réduire la pauvreté et stimuler la prospérité partagée au niveau des pays, des communautés et des familles⁵ ». Or, selon la Banque mondiale, seuls 10% des terres occupées en Afrique rurale et 30% des terres occupées dans le monde sont légalement documentées.

La Banque mondiale œuvre depuis longtemps à sécuriser le foncier dans les pays où la question n'était tout simplement pas appréhendée par leurs habitants ou par leurs administrations. La tenue d'un cadastre permet tout à la fois de se nourrir et d'accéder à des prêts et des dispositifs de micro-finances, permettant ainsi de réduire la pauvreté de manière pérenne. En l'absence de cadastre valable, le risque d'expropriation et l'insécurité quant à l'exploitation d'une terre n'incitent pas les fermiers à investir sur le long terme.

¹ <http://blogs.worldbank.org/opendata/september-2019-global-poverty-update-world-bank>

² Cible 1.1: D'ici à 2030, éliminer complètement l'extrême pauvreté dans le monde entier

³ Idem.

⁴ Cible 16.b : Promouvoir et appliquer des lois et politiques non discriminatoires pour le développement durable.

⁵ « Lutter contre les inégalités en Afrique », Ernest Harsch, Nations Unies - Afrique Renouveau, Un.org/africarenewal/



Par exemple, dans la région de Tigray, en Éthiopie, les économistes Stein Holden, Klaus Deininger et Hosaena Ghebru ont constaté que la tenue d'un cadastre des terres avait entraîné une augmentation de la productivité de 40 à 45% entre 1998 et 2006⁶.

Utiliser une blockchain pour tenir un registre de propriété présente un certain nombre d'avantages, autant dans les pays qui n'en possèdent pas que dans les pays qui s'appuient sur une profession réglementée dévolue à cette fonction.

Dans les pays où il n'existe pas de registre de propriété, l'intérêt d'utiliser une blockchain repose sur l'immutabilité du registre et la facilité avec laquelle il peut être interrogé. De plus, les outils de géolocalisation facilitent l'identification et le marquage des terres non répertoriées. Avec un cadastre numérisé, la dématérialisation des titres fonciers résout

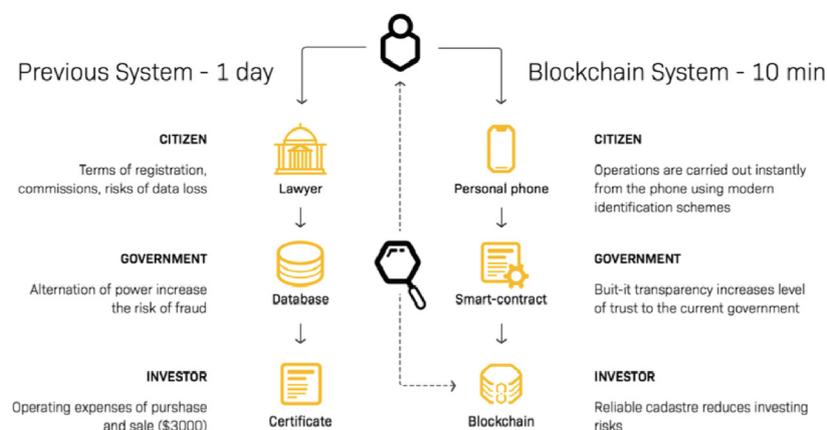
également le problème de la perte de documents papiers, en particulier en cas de catastrophes naturelles ou de conflits.

Enfin, l'absence d'organe centralisé en charge de l'inscription et de la maintenance du registre permet d'apporter une réponse au problème de corruption de certains agents.

La Géorgie, accompagnée par l'entreprise blockchain Bitfury, a déployé en avril 2016 un système de cadastre enregistré dans une blockchain, pour remplacer la tenue d'un registre centralisé et déjà numérisé, tenu, depuis 2004, par la National Agency of Public Registry (NAPR).

Bitfury s'est appuyé sur les données numérisées du cadastre existant pour développer une surcouche informatique permettant d'horodater les informations du registre dans la blockchain Bitcoin.

6 « Household Welfare Effects of Low-cost Land Certification in Ethiopia. CLTS Working Paper », Holden, Stein T. and Hosaena Ghebru, No. 3/2011. Centre for Land Tenure Studies, Norwegian University of Life Sciences, AS, Norway.





Les développements ont essentiellement porté sur le backoffice du cadastre géré par la NAPR, permettant aux employés de l'agence de continuer de travailler sur la même interface qu'auparavant sans être impactés par l'évolution des technologies sous-jacentes.

Pour optimiser l'écriture des données sur la blockchain Bitcoin et améliorer la confidentialité des données, Bitfury a développé un arbre de Merkel*, une structure spécifique de données, pour agréger les hash* avant de les enregistrer dans la blockchain Bitcoin.

Suite au succès de cette première phase menée entre 2016 et 2017, la république de Géorgie a reconduit Bitfury pour améliorer le système en permettant que les nœuds du réseau blockchain puissent vérifier que l'acheteur d'un bien immobilier dispose des fonds suffisants à son achat, et que le vendeur est effectivement le propriétaire dudit bien. Bitfury a développé la solution en s'appuyant sur Exonum, qui permet de créer des applications blockchains privées et semi publiques.

En 2018, 1,5 millions de titres de propriété sont ainsi sécurisés dans une blockchain⁷. Les données sont vérifiées, horodatées et hashées* dans la blockchain Bitcoin, ce qui empêche quiconque de modifier le registre à l'insu de tous.

D'autres projets portant sur la tenue d'un cadastre décentralisé et sécurisé via une blockchain se sont développés sous la forme de projets pilotes ou d'expérimentations, mais dont la plupart peinent à dépasser ce stade.

Aux Etats-Unis, Propy est une plateforme immobilière en ligne qui serait dotée d'un registre décentralisé permettant d'effectuer des transactions internationales dans n'importe quelle devise, dont bitcoin, pour acheter un bien. Selon leur site web, « *Propy permet aux acheteurs, aux vendeurs, aux courtiers et aux notaires de se réunir grâce à l'utilisation d'une série de contrats intelligents via blockchain afin de faciliter les transactions. Nous fournissons un réseau permettant à ces acteurs de se connecter et de procéder à des achats immobiliers en ligne. Le point culminant de la transaction est un transfert numérique de propriété sur le registre des biens* ».

Au Brésil, Ubitquity teste la mise en œuvre d'une blockchain pour enregistrer la propriété foncière des municipalités du sud de Pelotas, une ville brésilienne du Sud-Est de l'État du Rio Grande do Sul⁸.

Avec près de 78% des terres ghanéennes qui ne sont pas enregistrées, la Ghanaian Land Commission travaille avec la Banque mondiale depuis 1999 à la recherche de solutions automatisées pour rationaliser le processus d'enregistrement des biens fonciers et lutter contre les enregistrements

7 « A blockchain-based land titling project in the republic of Georgia. Rebuilding public trust and lessons for future pilot projects » Qiuyun Shang, Allison Price, The MIT Press Journals - innovations, p.73, volume 12, number 3/4.

Crédit Image: "Blockchain-Based Land Titling System in the Republic of Georgia": Image : Bitfury Group.

8 « Real Estate Transaction Recording in the Blockchain in Brazil (RCPLAC-01) –Case Study 1 », Daniel Flores, National Archives of Brazil, University of British Columbia, January 9, 2018.



frauduleux. En Inde, où « 70% des conflits civils régionaux sont liés au territoire »⁹, le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) s'est associé à la ville de Panchkula, dans l'Etat de Haryana, pour mettre en place un cadastre sécurisé via une blockchain.

Alexandru Oprunenco, conseiller en innovation du PNUD en Asie et dans le Pacifique, explique ainsi que « les archives [liées au cadastre et à la propriété des terres] sont liées en permanence au système afin que personne ne puisse les trafiquer ; et ces archives peuvent être consultées par tous, à tout moment¹⁰ ».

En 2016, l'initiative Bitland, portée par des Ghanéens accompagnés de la plateforme danoise de cryptodevises CCEDK, ont publié un livre blanc présentant le projet « d'enregistrer les droits de propriété et d'utilisation des terrains et des biens immobiliers dans un format électronique sécurisé, facile d'accès, permettant un accès rapide aux informations sur la propriété et les droits, et de sensibiliser la population à l'importance de droits de propriété solides pour la prospérité de la nation »¹¹.

Bitland utilise la technologie OpenLedger, un portefeuille web open source intégrant des fonctionnalités d'échanges décentralisés, et construit sur la blockchain Bitshares. La blockchain BitShares, lancée en octobre 2015 à l'aide de la technologie open source Graphène, sous licence du

MIT, vise le développement d'applications décentralisées pour les entreprises et les organisations.

Elle permet à ses utilisateurs non seulement de stocker, envoyer et recevoir des jetons* Bitshares (BTS) mais également d'échanger des actifs émis par les utilisateurs eux-mêmes.

Pour des raisons écologiques, la validation des titres fonciers s'appuie sur un mécanisme « Proof of Stake* » modifié pour les besoins du projet et permet ainsi de tenir un registre foncier infalsifiable.

L'initiative Bitland combine des données GPS, le système open source de cartographie Openmap et d'autres API* permettant à un particulier d'utiliser son téléphone portable pour effectuer un arpentage de son terrain et de soumettre ces demandes directement au gouvernement.

Puisque les banques ne peuvent pas octroyer d'hypothèques sur des propriétés non enregistrées, l'objectif de Bitland est de permettre aux propriétaires terriens d'accéder à des services financiers et des capitaux pour développer une activité leur permettant de subvenir à leurs besoins.

Cependant, peu d'information filtre du projet et il est même compliqué de savoir si ce dernier continue.

9 « Au-delà des Bitcoins - La blockchain au service des ODD », Programme des Nations unies pour le développement (PNUD), <https://feature.undp.org/beyond-bitcoin>
10 Idem.

11 « Bitland Global - White Paper », L. Chris Bates - C.S.O, November 1, 2016.

FOCUS : AGORA ET LE VOTE VIA BLOCKCHAIN

Fondée en Suisse en 2015, Agora est une entreprise développant une technologie de vote basée sur les blockchains à destination des gouvernements et des institutions. La promesse d'Agora est de réduire jusqu'à 70% les coûts d'une élection papier, écarter les risques de fraude tout en garantissant que le vote d'un citoyen reste privé pendant et après l'élection. La solution vise, en outre, à fortement diminuer le temps d'attente dans les bureaux de votes et à procéder rapidement au dépouillement.

Agora a testé pour la première fois sa technologie le 7 mars 2018, lors des élections présidentielles en Sierra Leone. Accréditée par la National Electoral Commission (NEC) en tant qu'observateur international, Agora a réalisé l'enregistrement manuel dans leur blockchain des votes des 280 bureaux du district occidental de la Sierra Leone en s'appuyant sur des nœuds de consensus opérés par la Croix-Rouge, le Swiss Federal Institute of Technology et l'Université de Fribourg. Il s'agissait de pouvoir comparer les résultats enregistrés par la NEC et ceux comptabilisés par Agora, résultats qui s'avèrent très proches.

Cette expérimentation fait figure de test symbolique de la technologie proposée par Agora, puisque cette dernière propose un écosystème complet permettant l'organisation d'élection dont les votes sont sécurisés via une blockchain.

Agora a créé une architecture de vote comprenant une blockchain semi-privée appelée « Bulletin Board » dont les données sont liées de manière cryptographique à la blockchain publique Bitcoin. La blockchain Bulletin Board est composée de nœuds

autorisés en écriture et gérés par Agora, de nœuds de consensus, c'est à dire des témoins tiers et indépendants, comme ceux de la Croix-Rouge ou de l'Université de Fribourg lors de l'expérimentation en Sierra Leone, et de nœuds en lecture seule, activable par n'importe quel citoyen.

Le processus peut passer par une application de vote permettant d'identifier de manière sécurisée le votant ou alors, par l'enregistrement sur place des bulletins de votes lors du dépouillement des urnes.

Agora se positionne comme un écosystème de vote basé sur une blockchain permettant à quiconque de voter en ligne à partir d'un appareil numérique, de manière sécurisée, simple et sûre :

- En s'appuyant sur la cryptographie et une architecture de réseau distribué, les votes sont enregistrés de manière inaltérable.

- Le processus de vote est transparent et publiquement vérifiable. Les données électorales étant stockées dans un grand livre accessible au public, toutes les parties prenantes peuvent vérifier la validité des résultats des élections ainsi que toutes les étapes intermédiaires du processus

de vote. Chaque électeur est également en mesure de vérifier que son vote a été correctement enregistré dans le décompte total et qu'il est resté inchangé.

- De par sa nature décentralisée, la technologie Agora rendrait le vote numérique plus sûr que n'importe quelle vote papier ou machine à voter tout en gardant les bulletins de vote strictement anonymes. Les choix, que chaque électeur fait, restent totalement confidentiels grâce à un cryptage de vote vérifiable et à l'anonymat.

- Le vote à partir d'un appareil numérique élimine la nécessité de se déplacer physiquement vers un bureau de vote, ce qui profite aux minorités qui ont du mal à y accéder et offre également aux électeurs

une méthode de participation adaptée à leur vie quotidienne.

- D'importantes réductions de coûts découlent de la numérisation des processus papier et manuels, de la disparition des bureaux de vote physiques à maintenir et à sécuriser, ainsi que de l'automatisation des mécanismes d'audit.

- Parce que la technologie de vote d'Agora produit des résultats vérifiables, la confiance dans un tel système pourrait apaiser le climat de tension et parfois de violence qui accompagne certaines élections.



SYNTHÈSE

Les blockchains contribuent à améliorer l'efficacité de certains services publics, au premier rang desquels celui des relations entre une administration et ses citoyens, notamment en offrant pour la première fois une architecture technique fiable à une identité auto-souveraine.

Des projets blockchains sont également déjà mises en œuvre pour gérer et sécuriser le foncier, notamment en Géorgie où 1,5 millions de titres de propriété sont dorénavant inaltérables, mais aussi testées au Ghana, au Brésil ou encore en Inde. Les blockchains sont également expérimentées dans le domaine du vote, en offrant tout à la fois une sécurité inégalée et un dépouillement rapide, tout en diminuant considérablement l'investissement nécessaire à la mise en place d'une élection.

POUR ALLER PLUS LOIN - LES QUESTIONS SOULEVÉES

Une identité numérique gérée par une entreprise commerciale interroge son modèle d'affaire. Dans quelle mesure l'identité des personnes ne sera pas utilisée à des fins commerciales ?

Deux visions contradictoires sont à appréhender : une conception française et européenne, pour qui les données personnelles n'ont pas à avoir de dimension patrimoniale que celle choisie par l'individu, et une conception anglo-saxonne qui part du principe qu'une donnée personnelle est une donnée comme les autres, dotée d'une valeur patrimoniale.

De plus, l'identité numérique délivrée par une organisation autre qu'un État ne vaut que si elle est reconnue par celui-ci.

Se pose également la question, notamment en cas de pandémie mondiale, de la mise en place d'applications mobiles concernant la « traçabilité des patients » qui soient à

la fois efficaces dans leur mise en œuvre tout en étant respectueuses de la vie privée des personnes. En Chine, en Corée du Sud, en Israël, à Singapour et à Taiwan où de telles applications ont vu le jour, la question ne se pose pas en ces termes. Existe-t-il un autre modèle où les enjeux médicaux et les libertés individuelles pourraient s'équilibrer ?

La sécurisation du cadastre dans une blockchain n'empêche en rien l'inscription de fausses informations ; l'intégrité et la qualité des données constituent la pierre angulaire de la réussite de tout projet blockchain.

La propriété d'un bien ou d'un terrain, inscrite dans un registre blockchain vaut-elle propriété dans le droit du pays où il se situe ? Quelle est sa valeur probatoire devant un tribunal national ou entre deux États dont l'un ne l'aurait pas reconnu ?



BLOCKCHAIN ET COMMERCE



POUR UN COMMERCE PLUS RESPONSABLE

Selon l'Organisation Mondiale du Commerce, entre 1950 et 2010, le volume des exportations mondiales a été multiplié par 33 quand le PIB réel mondial augmentait d'un facteur 8,62. Or durant des décennies, le développement du commerce international ne s'est accompagné d'aucune, ou très peu, de considérations environnementales et sociales, au point qu'il s'agit aujourd'hui, pour reprendre les mots de la Commission européenne du 15 mai 2001, de « *briser le lien entre croissance économique et dégradation de l'environnement et de tenir compte de ce que les écosystèmes peuvent supporter* ».

L'existence de bonnes pratiques et de standards d'évaluation, de normes obligatoires et d'organismes de contrôle, nationaux ou internationaux témoigne de la volonté de réguler et d'assainir le contexte et les externalités du commerce mondial. Néanmoins, la complexité et la diversité des modes de production et des échanges ainsi que leur mondialisation sur des territoires aux exigences et réalités très différentes aboutissent à des défaillances chroniques dont les effets sont parfois dangereux, dès qu'ils concernent l'alimentation ou la santé pour n'en citer que deux.

La promesse des blockchains est d'offrir des outils de contrôle et de traçabilité plus efficaces que ceux mis en œuvre actuellement, en repensant les modes de gouvernance actuels afin d'améliorer la traçabilité des biens, des produits et des modes de production.

La traçabilité consiste ainsi à « enregistrer et à conserver les informations relatives à un produit et, à chaque cession ou transaction, de les transférer sous la forme d'un étiquetage approprié, de documents d'accompagnement ou sous forme électronique¹ ».

Qu'il s'agisse de blockchains publiques, privées ou de consortium, d'innombrables projets portant sur la gestion de chaînes logistiques et la traçabilité ont essaimé dans des secteurs industriels aussi variés que l'extraction minière (diamants, terres rares), l'industrie pharmaceutique, l'agriculture, l'élevage ou encore la pêche.

Les blockchains n'ont pour autant rien d'une solution miracle. Elles sont utilisées pour horodater de manière sécurisée les informations relatives à un flux de produits ou de marchandises. Ces flux s'articulent entre une organisation interne (usine, récolte, pêche, entrepôts, distribution, transport) et des relations extérieures (fournisseurs, producteurs, transporteurs, prestataires). L'intérêt d'utiliser une blockchain consiste à rendre impossible, en théorie, la modification a posteriori d'une information concernant le flux d'un produit.

Depuis que l'informatique et le réseau Internet existent, la gestion de ces flux logistiques s'appuie sur une palette d'outils de planification, de fabrication, d'optimisation des stocks, de transport et d'entreposage, de qualité et de gestion des données s'y rattachant, dont l'ultime

¹ « La traçabilité des aliments : enjeux, définition, rôle », Egizio Valceschini, Jean-Louis Berdagué, CNRS Éditions, 2015.



objectif est de suivre au plus près, idéalement en temps réel, le mouvement perpétuel d'une entreprise en action.

Parce qu'une chaîne logistique implique des acteurs de plus en plus nombreux, qui parfois ne se connaissent pas ou peu, l'utilisation de blockchains pour distribuer la confiance à travers un registre partagé pourrait simplifier leurs relations et leurs interactions, au bénéfice de tous.

Les informations attachées à un produit, provenant d'une multitude d'acteurs, peuvent ainsi être suivies à chaque étape (production, transport, livraison) afin d'assurer une transparence permettant d'engager précisément la responsabilité de chacun sur le respect des normes sociales, environnementales, sanitaires et économiques.

Dans ce cadre, si l'Objectif de développement durable 17 intègre le commerce international dans le cadre du renforcement des moyens en œuvre du Partenariat mondial pour le développement durable, la mise en œuvre de blockchains pour un commerce responsable s'articule notamment autour de multiples Objectifs de développement durable (ODD) :

1. L'agriculture durable (ODD 2).
2. Les emplois décents (ODD 8).
3. La consommation et production durable (ODD 12).
4. L'exploitation durable des ressources marines (ODD 14).
5. La protection de la faune et de la flore terrestre (ODD 15).
6. La justice et la paix à travers à

travers des institutions efficaces, responsables et ouvertes (ODD 16).

L'analyse qui suit présente la pertinence de la mise en œuvre de blockchains dans le cadre de la poursuite de ces multiples Objectifs de développement durable.

Traçabilité de matières premières

Tantale, cobalt, diamants, les projets s'appuyant sur une blockchain pour garantir la provenance de ces matières premières font l'objet de projets pilotes depuis quelques années.

Power Resources Group (PRG) et la startup britannique Circular ont accompagné ainsi le Rwanda pour mettre en place un projet blockchain visant à suivre la production de tantale, de la mine à la raffinerie.

L'enjeu régional est de mettre fin aux polémiques avec son voisin limitrophe, la République démocratique du Congo, l'un des plus grands producteurs miniers, et de prouver que l'extraction de ces minerais n'est pas liée à des conflits armés et ne fait pas travailler des enfants.

Face à cette controverse, en République démocratique du Congo, un autre projet pilote nommé « Better Cobalt » (Cobalt éthique), supervisé par le cabinet britannique d'audit RCS Global, vise à assurer une extraction plus éthique de cinq mines artisanales. « *Le projet d'essai Better Cobalt tentera de suivre électroniquement le cobalt à partir des sites pour s'assurer qu'il n'est pas mélangé*



avec du métal provenant de sources inconnues² », explique Nicholas Garrett, directeur du programme Better Cobalt, chargé du projet pilote. L'objectif du projet est à la fois d'offrir à l'acheteur final la traçabilité du parcours emprunté par ce minerai, et aux observateurs, de pouvoir signaler tout écart par rapport aux règles éthiques et commerciales prédéfinies.

La startup Everledger s'est, quant à elle, spécialisée dans la traçabilité des diamants afin notamment de lutter contre les « diamants de sang » (blood diamonds), provenant de mines africaines, principalement d'Angola, du Libéria, de Sierra Leone, de Côte d'Ivoire, de République centrafricaine, de République démocratique du Congo, ou encore du Zimbabwe, et dont le commerce est soupçonné d'alimenter des achats d'armes par des milices locales et d'entretenir les conflits armés.

Everledger s'est appuyé jusqu'en 2016 sur la blockchain Ethereum, puis, à l'initiative d'un partenariat avec IBM, sur la technologie Hyperledger Fabric de Linux/IBM.

Aujourd'hui, Everledger référence quarante attributs par diamant (taille, couleur, pureté, poids en carat, lieu d'extraction, etc...) à partir desquels un identifiant unique est généré puis gravé à l'échelle microscopique sur la pierre, avant d'être inscrite dans une blockchain. Les données et les numéros de série sont cryptés afin d'éviter les faux, et ces données de

certification sont alors accessibles par toutes les parties prenantes.

En 2018, Everledger avait déjà enregistré quelque 1,8 millions de diamants dans ce registre distribué, et souhaite aujourd'hui impliquer tous les acteurs intervenant sur la chaîne de valeur.

La même année, le Groupe De Beers, leader mondial de l'industrie diamantifère, a annoncé le développement d'une initiative similaire, donnant ainsi un signal fort au marché sur l'opportunité d'usage des technologies blockchains pour assainir le secteur minier.

La volonté internationale de mettre fin aux diamants de sang date des années 2000, avec le processus de Kimberley initié le 1er décembre 1998. L'ONG Global Witness publie alors « A Rough Trade³ », premier rapport faisant état de ces « diamants de sang » dont le marché alimentait alors des conflits meurtriers en Angola et en Sierra Leone.

Vingt ans plus tard, force est de constater que peu de progrès ont été réalisés pour rompre avec l'opacité de la chaîne d'approvisionnement des diamants et autres minerais stratégiques.

Les blockchains pourraient donc constituer la pièce technologique manquante permettant de dépasser les bonnes intentions et de mettre en œuvre une solution de traçabilité effective qui épuiserait progressivement les

² « RDC : un projet-pilote de traçage électronique pour un «cobalt éthique» », Maimouna Dia, Afrique.la Tribune.fr, 28 mars 2018.

³ « A Rough Trade - The Role of Companies and Governments in the Angolan Conflict », Global Witness, December 1, 2018.



dérives éthiques et commerciales de cette industrie, au bénéfice espéré du développement et de la stabilité des pays producteurs.

Au regard des Objectifs de développement durable, plusieurs cibles sont précisément visées :

1. L'exploitation des enfants et le travail forcé (cible 8.7)
2. Le Cadre décennal de programmation concernant les modes de consommation et de production durable (cible 12.1)⁴,
3. La responsabilité sociale des entreprises (cible 12.6),
4. La lutte contre la corruption (cible 16.5).

Améliorer le fonctionnement des exploitations agricoles

Le deuxième Objectif de Développement Durable « éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir une agriculture durable » (ODD2) reconnaît les liens réciproques entre soutenir une agriculture durable, autonomiser les petits agriculteurs, promouvoir l'égalité des sexes, éliminer la pauvreté rurale, garantir des modes de vie sains et lutter contre le changement climatique.

Les enjeux de la filière agricole et de la traçabilité alimentaire sont intrinsèquement

liés à la multitude des acteurs intervenant au sein de chaînes de valeur complexes, interconnectées, parfois opaques et souvent déséquilibrées.

Pour nourrir 9 à 10 milliards de personnes d'ici à 2050, une croissance agricole durable consiste à soutenir un secteur qui non seulement produit suffisamment d'aliments mais qui soit également inclusif et résilient. L'impact d'une agriculture durable touche autant les pays développés que les pays en développement et « *soutenir les petits agriculteurs et les petites coopératives est actuellement de loin le meilleur moyen d'améliorer l'efficacité dans les pays en développement*⁵ ».

En Afrique Subsaharienne, les petites exploitations représentent environ 80 % de l'ensemble des exploitations agricoles. Elles emploient directement environ 175 millions de personnes et les femmes représentent au moins la moitié de cette population active⁶.

Cependant, non seulement le potentiel de production de ces petites exploitations est à peine atteint mais en plus, la diversité des acteurs, entre la récolte et l'assiette du consommateur, prive les agriculteurs d'un revenu décent.

D'autre part, l'usage de produits chimiques et de pesticides, interdits dans certains pays consommateurs, et parfois sans respect des règles sanitaires de base,

⁴ Le Cadre décennal de programmation concernant les modes de consommation et de production durable, ou son acronyme 10YFP en anglais, est un ensemble de six programmes adoptés lors du Sommet Rio+20 en juin 2012, ayant trait aux marchés publics durables, à l'information des consommateurs pour la consommation et la production durable, aux styles de vie durables et à l'éducation, aux édifices et aux constructions durables, et aux systèmes alimentaires durables.

⁵ « The future of food and agriculture Trends and challenges » Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2017.

⁶ « L'agriculture en Afrique subsaharienne : Perspectives et enjeux de la décennie à venir », Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2016-2025© OCDE/FAO 201



met en danger les populations et les écosystèmes mondiaux.

L'amélioration des chaînes logistiques, en réduisant les intermédiaires, en développant l'efficacité des circuits d'acheminement, et assurant l'usage maîtrisé des intrants, est donc un enjeu majeur pour assurer la résilience de ce secteur d'importance vitale.

Chaque année, environ un tiers de la production alimentaire mondiale, soit environ 1,3 milliard de tonnes, est perdue ou gaspillée⁷. En Afrique seulement, près de 50% de la valeur des récoltes est perdue entre leur culture et le point de vente sur les marchés des pays en développement (vol, pertes involontaires dans les transports, fraude...) et la quantité de nourriture gaspillée sur le continent africain pourrait nourrir jusqu'à 300 millions de personnes⁸.

Les blockchains, par leur nature distribuée entre toutes les parties prenantes, où chaque transaction est vérifiée dans un registre inviolable permettrait de rétablir la confiance et mesurer la contribution et l'efficacité de toutes les parties prenantes, tout en écartant les risques de fraude.

AgUnity, fondée en 2016, est une entreprise blockchain australienne dont le projet s'étend actuellement au Kenya, en Ethiopie et en Papouasie-Nouvelle-Guinée. AgUnity équipe les agriculteurs au revenu modeste d'une application mobile leur permettant de travailler

en confiance entre eux et avec des coopératives agricoles, et de profiter de services mutualisés auxquels ils n'avaient auparavant pas accès.

Depuis longtemps, les coopératives agricoles sont reconnues comme étant une solution pour permettre à ces agriculteurs d'accéder à des prix de vente équitables, de bénéficier d'équipements agricoles coûteux, et de mutualiser leurs ressources pour réaliser des économies d'échelle, par exemple pour l'achat d'intrants. Bon nombre de ces coopératives sont soutenues par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ou la Banque mondiale, ainsi que, sur le terrain, par de nombreux organes de Coopération internationales et d'Organisations non gouvernementales comme la Fondation Gates ou encore la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Coopération allemande), qui s'occupent localement de leur mise en place et du renforcement de leurs capacités.

Cependant, selon Angus Rama Keck, responsable du personnel d'AgUnity, « *la plupart des coopératives tiennent leurs registres sur papier. Comme beaucoup d'agriculteurs à faible revenu ont un faible niveau d'alphabétisation et vivent dans des régions avec des structures de gouvernance inefficaces, voire inexistantes, des inégalités de pouvoir émergent et le potentiel de corruption augmente*⁹ ». Parce que le registre papier

⁷ « Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention ». Institute for Food and Biotechnology (SIK)Gothenburg, Suède, pour la FAO, Rome, 2011.

⁸ Idem.

⁹ « AgUnity, de bonnes bases pour de meilleures chaînes de valeur », Jaclyn Bolt et Osseni Senou, Union Européenne, Cta.int/fr, 13 décembre 2018.



mentionnant la quantité des produits agricoles livrée par un agriculteur peut être sujet à modification, ou même être perdu ou volé, d'innombrables conflits émergent, à tel point que certaines coopératives finissent par fermer, faute de pouvoir s'entendre avec les petits producteurs.

AgUnity a développé une blockchain dont les données sont directement enregistrées par l'agriculteur à l'aide d'une application pour smartphone, AgriLedger. L'application leur permet d'enregistrer les transactions lors de la vente, notamment le poids de leur récolte livrée, mais également leurs achats auprès de coopératives et de tierces parties, ainsi que de gérer leurs revenus à l'aide du portefeuille numérique inclus dans l'application. Une fois les données enregistrées dans une blockchain, l'agriculteur fait à nouveau rapidement confiance à la coopérative. En 2017, les deux coopératives pilotes au Kenya et en Papouasie-Nouvelle-Guinée où les petits producteurs étaient équipés de l'application AgriLedger ont ainsi triplé leurs revenus¹⁰.

Face à l'absence quasi systématique de suivi formel de ce qui se passe dans les fermes et les champs des agriculteurs, AgriLedger devient un registre qui permet de suivre bien plus que l'achat ou la vente de produits agricoles auprès de coopératives. Par exemple, l'embauche de récolteurs sur une période donnée permet de suivre qui contribue afin que chacun récupère sa juste part.

L'application permet également à des agriculteurs exploitant de petites parcelles de louer des équipements agricoles le temps d'une récolte, comme des semoirs mécaniques, et d'en assurer le paiement directement auprès de la coopérative sur les recettes à venir. En 2019, AgUnity prévoit l'intégration dans l'application de services de microcrédit, dont les paiements pourront être effectués au fur et à mesure via AgriLedger.

L'intérêt d'avoir recours à une blockchain, dès qu'elle est publique, consiste à créer un registre immuable pour créer un climat de confiance entre différentes parties : entre agriculteurs, avec les coopératives et avec des tiers.

Pour reprendre les mots de David Davies, fondateur d'AgUnity et AgriLedger, « *nous utilisons ici la blockchain pour obtenir un registre permanent de confiance*¹¹ ».

En Equateur, le PNUD, AltFinLab, le laboratoire de nouvelles technologies financières du PNUD et la FairChain Foundation d'Amsterdam développent ensemble une initiative visant à proposer un « chocolat équitable ».

Les fèves de cacao proviennent de petites entreprises durables de l'Amazonie équatorienne et sont récoltées par l'association de producteurs APEOSAE¹². L'APEOSAE regroupe huit associations et 20 % de ses membres sont des indiens Shuar.

¹⁰ « AgUnity, de bonnes bases pour de meilleures chaînes de valeur », Jaclyn Bolt et Ossen Senou, Union Européenne, Cta.int/fr, 13 décembre 2018.

¹¹ « How Blockchain Helps Smallholder Farmers in Developing Countries », Tim Hammerich, Futureofag.com, January 24, 2018.

¹² Asociación de Pequeños Exportadores Agropecuarios Orgánicos del Sur de la Amazonía Ecuatoriana.



Elle œuvre activement à la préservation de l'Amazonie en évitant scrupuleusement toute déforestation. L'enclavement des exploitations agricoles rend très compliqué le transport des fèves de cacao, qui s'opère à dos de mules sur des chemins escarpés. Les petits agriculteurs n'ont ainsi pas accès au marché, puisque leur récolte, une fois le premier village atteint, passait entre les mains de plusieurs intermédiaires jusqu'à un exportateur. Guido van Staveren, PDG de FairChain explique ainsi que « *la blockchain permet de suivre le parcours du cacao depuis les fermes amazoniennes jusqu'aux points de vente. De la surveillance de l'hygiène à l'horodatage avec images et vidéos, en passant par le suivi des volumes de produits alimentaires tout au long de la chaîne d'approvisionnement via le QR code et l'identification par radiofréquence (RFID*), la blockchain garantit une transparence et une authenticité inégalées*¹³ ».

Cette initiative blockchain vise ainsi à développer une plateforme de traçabilité avec l'APEOSAE, rémunérer de manière équitable les petits agriculteurs tout en garantissant au consommateur final un chocolat dont l'origine est responsable. Sur la filière textile cette fois, Bext360 coordonne depuis décembre 2018 un pilote permettant d'assurer la traçabilité du coton organique en travaillant avec des géants de l'habillement parmi lesquels C&A, Zalando, PVH Corp (Calvin Klein, Tommy

Hilfiger, Heritage) et le groupe Kering (Gucci, Yves Saint Laurent, Boucheron, Bottega Veneta et Alexander McQueen).

La première phase du pilote consiste à tracer le coton organique des exploitations agricoles vers les usines d'égrenage, la seconde phase étant de tracer le coton en sortie d'usine jusqu'au consommateur.

Bext360, principal opérateur technique du pilote, collabore avec plusieurs partenaires dont Tailorlux, IN-Code Technologies et Haelixa. Ces sociétés fournissent différents types de marqueurs qui peuvent être appliqués au coton brut afin de les « tracer ». Bext360 serait également capable d'analyser le microbiome (données génétiques) trouvé à la fois dans la ferme et dans le coton lui-même, ce qui fournit une autre « empreinte infalsifiable » pour prouver l'authenticité du coton.

Ces données sont ensuite converties en hash* et enregistrées dans la blockchain Stellar afin de pouvoir être suivies tout au long du cycle de leur chaîne d'approvisionnement et de transformation.

Toutes ces initiatives reposant sur des blockchains permettent aux petits paysans d'améliorer leur productivité¹⁴ tout en contribuant à une agriculture résiliente¹⁵. En créant un climat de confiance, elle permet aussi de lutter contre la corruption à travers la transparence qui en découle¹⁶.

¹³ « Un marché équitable pour le cacao équatorien », ONU Développement, Medium.com/@pnuodfr, janvier 2018.

¹⁴ Cible 2.3 : D'ici à 2030, doubler la productivité agricole et les revenus des petits producteurs alimentaires, en particulier les femmes, les autochtones, les exploitants familiaux, les éleveurs et les pêcheurs, y compris en assurant l'égalité d'accès aux terres, aux autres ressources productives et intrants, au savoir, aux services financiers, aux marchés et aux possibilités d'ajout de valeur et d'emploi autres qu'agricoles.

¹⁵ Cible 2.4 : D'ici à 2030, assurer la viabilité des systèmes de production alimentaire et mettre en œuvre des pratiques agricoles résilientes qui permettent d'accroître la productivité et la production, contribuent à la préservation des écosystèmes, renforcent les capacités d'adaptation aux changements climatiques, aux phénomènes météorologiques extrêmes, à la sécheresse, aux inondations et à d'autres catastrophes et améliorent progressivement la qualité des terres et des sols.

¹⁶ Cible 16.5 : réduire nettement la corruption et la pratique des pots-de-vin sous toutes leurs formes.



Traçabilité alimentaire

La « gestion de la chaîne logistique » dans le domaine alimentaire constitue pour les entreprises un enjeu de premier plan qui dépasse largement la simple organisation pratique de leurs activités.

En anglais la « supply chain management » désigne le suivi et le pilotage de l'ensemble des flux de marchandises et des flux financiers qu'une entreprise opère entre la production et le client final. Ces flux s'articulent entre une organisation interne et des relations extérieures.

De la confiance que se font les différents acteurs d'une chaîne alimentaire découle celle des consommateurs. Or la confiance des consommateurs s'étiole au fur et à mesure qu'éclatent des scandales de grande ampleur aux quatre coins du monde : lait frelaté en Chine, scandale de fraude à la viande de cheval en Europe, contamination à la bactérie E.coli aux Etats-Unis, et encore récemment, lait contaminé à la salmonelle en France.

Une traçabilité alimentaire efficace permettrait de lutter contre la fraude ou les erreurs, d'assurer une transparence pour le consommateur, de responsabiliser de multiples acteurs et de rationaliser des coûts.

De nombreuses entreprises blockchain se positionnent dans le domaine de la traçabilité alimentaire : En Espagne, Olivacoïn permet de tracer la production

et l'origine de l'huile d'olive, dont le marché serait sujet à d'innombrables fraudes¹⁷. En France, Connecting Food, développé en partenariat avec le Comité d'énergie Atomique (CEA), propose un outil de certification en temps réel des produits alimentaires au fur et à mesure de leur cheminement le long de la chaîne logistique, afin d'auditer les fournisseurs en direct sur le respect des certifications et labels agro-alimentaires.

De même, le Food Trust mené par IBM mène d'importants projets de traçabilité notamment avec Walmart, Nestlé, Unilever ou encore Carrefour.

Des projets dédiés à la traçabilité du bœuf sont menés en Corée du Sud, dans le Wyoming et au Royaume-Uni. Oxfam au Cambodge et Alibaba, en Chine, ont tous deux des projets de traçabilité du riz.

Tous ces projets consistent à faire travailler ensemble les parties prenantes d'une chaîne de production et d'une chaîne logistique afin d'inscrire chaque étape du processus, de leur production jusqu'à leur lieu de vente, dans un registre qui sera distribué entre tous, y compris avec le consommateur final en bout de chaîne.

En fonction des cas, l'inscription sur le registre peut se faire de façon manuelle, en photographiant les documents avec un smartphone et en les mettant en ligne sur une plateforme ad hoc, ou de manière automatique, via l'utilisation de capteurs connectés, attachés au produit, capables de transmettre automatiquement des

¹⁷ « En Italie, la fraude sur l'huile d'olive «extra vierge» est un scandale national », Giuletta Gamberini, Latribune.fr, 12 novembre 2015.



données - localisation, température, humidité... - et de les inscrire dans une blockchain.

Par exemple, pour un éleveur de bovins, il s'agira d'enregistrer les données d'abattage ainsi que le numéro d'agrément de l'abattoir et de l'établissement chargé de la découpe.

Dans le cas de fruits et légumes, il s'agira d'inscrire le type et les dates de semi et de récolte, ainsi que les données sur les engrais et autres produits ou méthodes utilisés.

Une blockchain permet donc un horodatage et une transparence du suivi des aliments, sans qu'un individu ou une entité ne puisse modifier ou supprimer ces informations a posteriori.

Les différents acteurs de l'industrie, régulateur compris, peuvent dès lors détecter plus rapidement les incohérences, et localiser où et quand l'erreur ou la fraude a été commise.

Selon le responsable de la sécurité alimentaire de Walmart, avec les dispositifs classiques, en cas d'intoxication alimentaire d'un consommateur, au moins deux semaines sont nécessaires pour repérer la denrée impliquée¹⁸.

Les blockchains sont particulièrement pertinentes lorsqu'une multitude d'acteurs interagissent. Par exemple, envoyer des

produits frais d'Afrique de l'Est vers le continent européen implique aujourd'hui le feu vert d'au moins 30 personnes, et plus de 200 interactions entre organismes¹⁹ (services de santé, autorités douanières, etc.) Pourquoi sont-ils aussi nombreux ? Pourquoi y'a-t'il autant de contrôle ? Parce que c'est le prix de la confiance dans le système actuel.

Rationaliser ces processus à travers l'utilisation de blockchains permettrait donc de réduire considérablement les interactions entre ces différents organismes, de gagner du temps, et sensiblement optimiser certains coûts.

Le recours à des blockchains améliore le fonctionnement des marchés alimentaires en contribuant notamment à les rendre plus accessibles, à travers une maîtrise accrue de la chaîne de valeur, en particulier au regard des critères sanitaires et phytosanitaires. Ces initiatives s'inscrivent dans la cible 2.c des Objectifs de développement durable²⁰.

Au-delà des économies réalisées, les blockchains permettent de responsabiliser les acteurs intervenant sur les chaînes logistiques sensibles comme celles de l'alimentaire.

Une entreprise blockchain établie en France, Ownest, développe des projets blockchain dans le domaine de gestion de la chaîne logistique où ce ne sont pas les produits, les palettes ou les containers

¹⁸ « Blockchain, supply chain et logistique : étude », blockchainpartner.fr, 10 juillet 2017.

¹⁹ Idem.

²⁰ Cible 2.c : « Adopter des mesures visant à assurer le bon fonctionnement des marchés de denrées alimentaires et des produits dérivés et faciliter l'accès rapide aux informations relatives aux marchés, y compris les réserves alimentaires, afin de contribuer à limiter l'extrême volatilité du prix des denrées alimentaires ».



qui sont suivis mais les personnes qui en sont responsables, répondant ainsi à la problématique expliquée par son fondateur, Clément Bergé-Lefranc : « avec la complexification de la chaîne logistique et la diversité des opérateurs qui interviennent, il y a de plus en plus d'acteurs mais de moins en moins de responsables²¹ ».

Selon ce dernier, « mettre en place une blockchain permet de faire de l'horodatage [timestamping]. Tout dépend donc des informations que l'on va horodater. Par exemple, on voit des projets blockchains qui permettent à chacun des acteurs d'une chaîne logistique d'horodater du déclaratif. Si quelqu'un déclare n'importe quoi, on pourra rapidement l'identifier. Mais si tout le monde raconte n'importe quoi, cela devient vite beaucoup plus compliqué. Deuxième type de projet, on va faire en sorte que ce soit les objets (palettes, cartons, camions etc.) qui horodatent automatiquement des informations en les dotant de capteurs

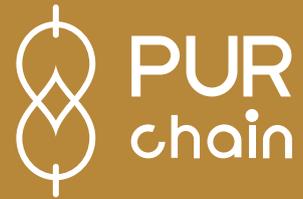
et tags. On entre de plain-pied dans le domaine de l'Internet des objets (IoT). Mais le problème, à nouveau, c'est qu'il est très facile d'usurper des composants IoT, qui plus est en masse.

Or ce qui est vraiment révolutionnaire dans les blockchains, c'est que l'on peut individualiser des objectifs : quand on fait un transfert d'un bitcoin, mon objectif, c'est que la personne le reçoive. L'objectif de celui à qui il est envoyé, c'est de le recevoir effectivement. L'objectif individuel du mineur, ce sera de sécuriser la transaction pour percevoir la récompense.

La révolution blockchain, c'est d'agencer les effets collatéraux des objectifs individuels de chacun. Si un projet n'arrive pas à mettre en place un mécanisme de consensus qui soit impliquant pour toutes les parties, le projet ne s'appuie pas sur ce qui fait la plus-value des blockchains²² ».

²¹ « Blockchain et chaîne logistique : suivre les objets ou rendre responsables les gens qui les suivent ? », Jacques-André Fines Schlumberger, Blockchain-x.eu, 6 janvier 2019.
²² Idem.

FOCUS : PURCHAIN



PurChain est un projet initié en 2018 par PurProjet, cabinet qui accompagne les entreprises dans des projets d'Insetting¹ par l'agroforesterie afin de préserver et régénérer les écosystèmes, ainsi que Futurs.io, structure de conseil en innovation et de développement de solution blockchain. Cette solution s'adresse à l'ensemble des filières qui souhaitent disposer d'une blockchain de traçabilité accessible en ligne en mode Saas (Software as a service). Elle permet aux différents acteurs d'inscrire sur une blockchain permissionnée leurs flux de produits, de les visualiser dans un outil de cartographie et de mesurer l'impact de leurs échanges selon les critères des 17 Objectifs de développement durable retenus. Elle s'enrichit également des données en provenance du reste du système d'information, notamment SAP et les objets connectés.

La première filière de traçabilité déployée par PurChain concerne le suivi de matière première agricole dans le secteur cosmétique. La solution permet aux différents acteurs de déclarer l'évolution des stocks et leurs transformations et d'organiser les transferts de responsabilité de l'exploitation au transformateur.

PurChain a également développé, en partenariat avec Orange, un cas d'usage visant à sécuriser la distribution de vaccins (qualité du transport et absence de contrefaçon). Ainsi, à chaque transfert du laboratoire au cabinet médical, l'application interroge une glacière connectée et inscrit dans la blockchain utilisée, les événements indésirables comme l'ouverture indue de la glacière ou de mauvaises conditions de conservation.

Techniquement, PurChain s'appuie sur la blockchain Quorum, à partir de laquelle sont automatiquement

créés des wallets* pour chacune des personnes morales participant à la filière, un contrat intelligent* reproduisant les règles de distribution et un token ERC* portant les caractéristiques du produit suivi et de son impact selon les critères d'Objectifs de développement durable. Les registres peuvent être déployés chez chacun des acteurs (ou à distance - Cloud) mais également chez des partenaires institutionnels pour renforcer la transparence. Le consensus s'appuie sur un protocole dit de « Proof of authority », consommant peu d'énergie.

Côté restitution, le public autorisé peut consulter la liste des transactions via des schémas et des QR Code, les provenances via des cartes et l'état de la blockchain via un explorateur de blocs intégré.

Le jeton généré obéit aux standards techniques d'Ethereum, ce qui le rend

utilisable sur des plateformes tierces de type Tree Token ou Ixo Foundation. Une fois tracé, il est donc possible de valoriser la filière sur des infrastructures de marché (notamment le marché de la compensation carbone volontaire).

Le modèle économique de PurChain repose sur un abonnement et un coût par personne morale participant au projet, et les transactions ne génèrent pas de surcoût pour les utilisateurs.



Partant du constat que le réchauffement climatique, la disparition d'espèces animales et l'épuisement des ressources naturelles proviennent en grande partie de la production d'un petit nombre de produits consommés tous les jours, tels que les fruits de mer, le bœuf, le sucre, le papier ou encore le coton, WWF Australia et Boston Consulting Group Digital Venture ont fondé en 2018 OpenSC, (SC pour Supply Chain) une plateforme logistique dont les informations sont enregistrées et sécurisées via une blockchain.

Partant du constat que le réchauffement climatique, la disparition d'espèces animales et l'épuisement des ressources naturelles proviennent en grande partie de la production d'un petit nombre de produits consommés tous les jours, tels que les fruits de mer, le bœuf, le sucre, le papier ou encore le coton, WWF Australia et Boston Consulting Group Digital Venture ont fondé en 2018 OpenSC, (SC pour Supply Chain) une plateforme logistique dont les informations sont enregistrées et sécurisées via une blockchain.

La société ConsenSys, fondée par Joseph Lubin d'Ethereum et la startup fidjienne TraSeable Solutions Pte Ltd, spécialisée dans développement durable appliquée aux produits de la mer, font également partie du projet. Selon OpenSC, « *70% de la perte de biodiversité provient de la production alimentaire et 70% de ces produits sont contrôlés par moins de 500 entreprises¹* ».

OpenSC permet ainsi aux organisations et aux particuliers de « vérifier à la source les affirmations concernant une production

durable et éthique et de tracer des produits de leur origine au point de vente² ».

La plateforme OpenSC est déjà utilisée par Austral Fisheries, filiale du groupe japonais Maruha Nichiro, l'une des plus grandes entreprises au monde de pêche, d'aquaculture et de transformation des aliments. Austral Fisheries a pour activité, entre autres, la pêche de légine australe, capturée dans les eaux subantarctiques avant d'être expédiée dans treize pays.

Partant du constat que trop de poissons dans le monde sont pêchés illégalement dans des zones protégées ou par des navires non immatriculés, le dispositif combine plusieurs technologies : Données de surveillance des navires, logiciel d'apprentissage automatique (machine learning), tag RFID* et Internet des objets (IoT) et enfin, blockchain.

Mêlant blockchains et technologie d'apprentissage automatique (Machine Learning) (ML), OpenSC a développé pour Austral Fisheries un algorithme combinant plusieurs sources de données pour vérifier

¹ WWF Australia, wwf.org.au et Opensc.com

² Idem.

que les navires de la compagnie ne pêchent que dans des zones légales.

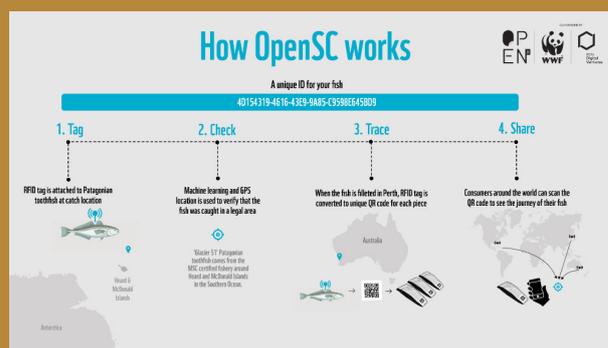
Lorsque le navire entre dans des zones de pêche illégales, qu'il a cependant le droit de traverser, le modèle utilise les données relatives à la vitesse, à la météo et à la profondeur de la mer pour déterminer s'il est probable que le navire soit en train de pêcher.

Lors de la pêche, a priori dans une zone autorisée, une étiquette RFID* est apposée sur chaque poisson juste après sa capture, et la position GPS du navire est associée au poisson. Toutes ces informations sont enregistrées dans une blockchain.

Grâce à l'identifiant unique associé au poisson, son parcours devient transparent, depuis sa capture en Antarctique, en passant par sa transformation en Australie et enfin sa distribution en Asie, en Europe et aux Etats-Unis. Un dispositif de surveillance de la température permet également de s'assurer que le conditionnement du poisson a respecté les normes sanitaires en vigueur tout au long

de la chaîne d'approvisionnement. Lors de sa transformation en Australie, le poisson est découpé en filet et, grâce au tag RFID*, chaque emballage est assorti d'un QR Code qui permettra au consommateur final d'avoir accès à l'ensemble de la chaîne logistique, de la pêche à l'assiette.

OpensSC a développé l'infrastructure technique qui permet à Austral Fisheries de visualiser à travers un tableau de bord de gestion l'ensemble de ces informations, qui lui seront également utiles pour optimiser ses opérations de pêche.



Source³

³ Idem



SYNTHÈSE

Les blockchains sont un formidable outil pour améliorer la traçabilité des biens, des produits et des modes de production. Sur des chaînes de valeur complexes faisant interagir toujours plus d'acteurs, les blockchains permettent de distribuer la confiance à travers chacun, et réduire le nombre d'intermédiaires de la production d'un produit jusqu'à sa destination finale. Traçabilité des matières premières, traçabilité agricole, traçabilité maritime, les blockchains constituent le rouage de registres infalsifiables qui pourraient devenir un cadre responsabilisant pour une exploitation durable des ressources de la planète.

POUR ALLER PLUS LOIN - LES QUESTIONS SOULEVÉES

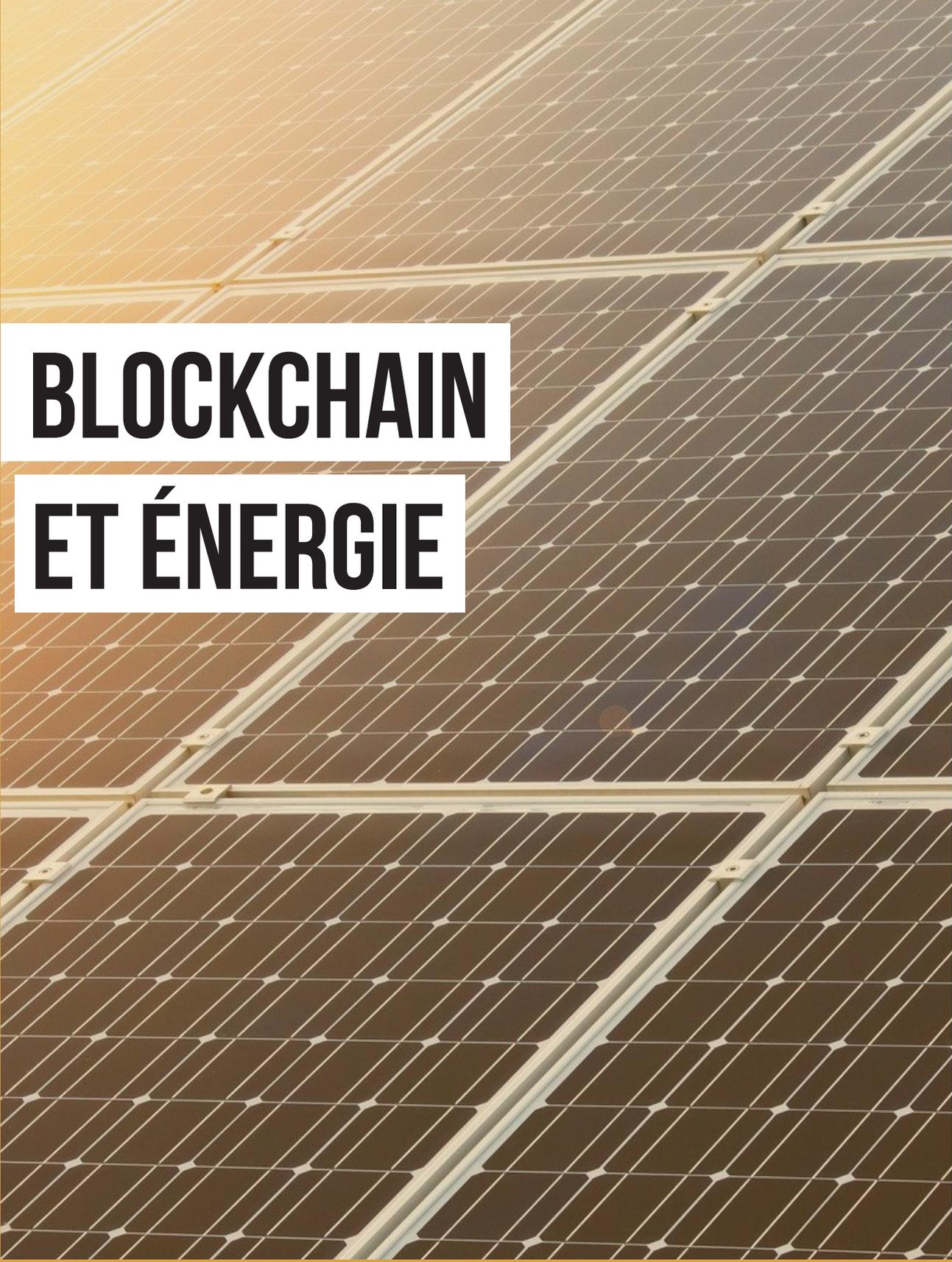
Les blockchains servent de registre infalsifiable permettant de minutieusement tracer des informations fournies par les différents acteurs d'une chaîne logistique.

Se pose la question de savoir qui vérifie l'information fournie par ces acteurs ? Lorsque l'information est déclarative, qui empêche de renseigner de fausses informations ?

Lorsque l'information est automatisée, à l'aide de composants de l'internet des objets (IoT), qui contrôle la véracité des informations transmises ?

Pour qu'une information soit opposable à tous parce que vérifiable par tout un chacun, les blockchains privées et les blockchains semi-publiques offrent peu de garantie sur l'immutabilité du registre.

La crise sanitaire mondiale engendrée par la pandémie de Covid-19 a également mis en lumière la nécessité de développer les réseaux d'économie locale et écologique, en parallèle d'une économie mondialisée sur laquelle repose les échanges de matières premières et de denrées agricoles, et d'envisager la relocalisation de la production de biens stratégiques, notamment liés au système de santé.



BLOCKCHAIN

ET ÉNERGIE



POUR UNE ÉNERGIE SOLIDAIRE

Selon les Nations Unies, entre 1990 et 2010, le nombre de personnes disposant de l'électricité a augmenté d'1,7 milliard. Cependant, une personne sur cinq en est toujours privée, et comme la demande ne cesse d'augmenter, il devient nécessaire de nettement accroître la production d'énergie renouvelable dans le monde. Ce défi correspond à l'Objectif de développement durable 7, et notamment deux cibles concernant l'accès à l'énergie (cible 7.1) et la promotion de l'énergie renouvelable (cible 7.2).

Le recours aux blockchains dans le domaine des énergies renouvelables répond à cinq grands enjeux dans le domaine énergétique pour la lutte contre le changement climatique :

1. Garantir l'origine verte de l'énergie consommée.
2. Mettre en relation producteurs et consommateurs d'électricité à l'échelle locale.
3. Inciter à la production d'énergie renouvelable.
4. Calculer les économies d'énergie.
5. Et enfin, financer des énergies renouvelables.

Dans chacun de ces domaines, les blockchains présentent l'intérêt d'offrir un registre distribué et infalsifiable, assorti de smart contracts*, permettant d'enregistrer ou d'enclencher automatiquement des processus de production, de distribution, d'achat, de suivi, de vente ou encore de consommation d'électricité.

Au regard des Objectifs de développement durable, si les cibles 7.1 et 7.2 visent

expressément le domaine de l'énergie, il ne fait guère de doute que l'« énergie solidaire » mise en œuvre via des projets blockchains pourrait produire des effets sur bien d'autres cibles, notamment la cible 8.3 « *promouvoir des politiques axées sur le développement qui favorisent des activités productives, la création d'emplois décents, l'entrepreneuriat, la créativité et l'innovation et stimulent la croissance des microentreprises et des petites et moyennes entreprises et facilitent leur intégration dans le secteur formel, y compris par l'accès aux services financiers* ».

Ou encore la cible 9.1 « *mettre en place une infrastructure de qualité, fiable, durable et résiliente, y compris une infrastructure régionale et transfrontière, pour favoriser le développement économique et le bien-être de l'être humain, en mettant l'accent sur un accès universel, à un coût abordable et dans des conditions d'équité* », mais aussi la cible 9.c, « *accroître nettement l'accès aux technologies de l'information et de la communication et faire en sorte que tous les habitants des pays les moins avancés aient accès à Internet à un coût abordable d'ici à 2020* ».



Garantir l'origine verte de l'énergie utilisée

« Les acheteurs d'énergie verte ne savent jamais vraiment ce qu'ils achètent, car les systèmes sont trop complexes et manquent de transparence. Même l'énergie sale produite à partir du charbon peut être emballée comme étant « verte » pour un consommateur qui ne connaît jamais la provenance de son approvisionnement énergétique. La technologie blockchain traite tous ces problèmes, permettant aux consommateurs d'acheter de l'énergie auprès de fournisseurs en qui ils ont confiance. Tout aussi importante, la technologie des compteurs « smart » permet aux consommateurs de profiter d'une énergie moins chère pendant les heures creuses. Ces avantages placent le consommateur aux commandes en matière de consommation d'énergie » explique Richard Lohwasser, président Lition.

Lition est une entreprise allemande qui développe une infrastructure blockchain en deux couches, au-dessus d'Ethereum, et qui permet l'utilisation commerciale de dApps*.

Actuellement disponible en Allemagne, l'offre commerciale de Lition adresse un marché potentiel de 41 millions de ménages allemands à travers plus de 30 villes dont Munich, Berlin ou encore Hambourg.

A condition d'avoir un compteur d'électricité connecté, les utilisateurs pilotent, à partir d'une application sur smartphone, le type d'énergie verte qu'ils souhaitent acheter (biomasse, solaire, éolien) et effectuent leur paiement en euro. Un smart contract* Ethereum permet alors de confirmer la transaction et enclencher la fourniture d'électricité correspondant à la demande du client. En réduisant le nombre d'intermédiaires entre la production et la consommation d'électricité, les consommateurs, selon

Lition, économiseraient jusqu'à 20 % sur leur facture énergétique mensuelle tandis que les producteurs d'électricité généreraient jusqu'à 30 % de bénéfices supplémentaires.

Une initiative similaire, baptisée TEO pour « The Energy Origin », est menée en France depuis 2018 par Engie.

Engie et Air Products and Chemicals, l'un des principaux fournisseurs mondiaux de gaz industriels ont signé, en avril 2018, un contrat poursuivant un double objectif. D'une part, il permet à Air Products « d'identifier les actifs de production d'énergie verte d'une installation de production de gaz en France, en fonction de leur disponibilité¹ ». D'autre part, Engie a développé un service web permettant à Air Products de certifier auprès de ses propres clients la provenance de l'énergie verte utilisée au jour le jour, pour la fabrication de leurs produits.

1 « Engie et Air Products collaborent dans la blockchain », Jean-Noël Legalland, Boursier.com, 10 avril 2018.



Le projet TEO relie ainsi la production d'un parc éolien situé dans le département de l'Aveyron et deux de ses usines hydroélectriques dans les Hautes-Pyrénées et en Corrèze au point de consommation d'Air Products situé en

Isère. L'utilisation de blockchains dans ces projets garantit, de manière hautement sécurisée, l'origine verte de l'électricité produite, y compris la transmission de certificat d'énergie jusqu'au consommateur final.

Autoconsommation collective et microgrids

Le développement des énergies renouvelables s'accompagne également d'un changement du modèle de production de l'électricité, passant d'un mode centralisé de très grande puissance à des modes de production décentralisés, de faible puissance, et répartis sur un territoire donné.

Produire localement de l'électricité propre, la consommer, vendre le surplus autour de soi ou, s'il en manque, l'acheter autour de soi ; Voilà la promesse de l'autoconsommation collective d'électricité renouvelable adossé à une blockchain. Le tout de manière automatique, en ayant la garantie que toutes les transactions – production d'électricité, vente et achat, seront enregistrées dans un registre distribué et infalsifiable.

L'autoconsommation collective répond au défi énergétique de freiner la consommation électrique provenant de sources centralisées et fossiles et de partager le surplus énergétique d'installations « propres » au sein d'un territoire et de ses logements, commerces, bornes de recharge etc.

L'autoconsommation collective d'électricité renouvelable ne concerne pas uniquement les particuliers. Les entreprises sont également intéressées, à la fois pour consommer ce type de l'électricité mais également pour en produire, puisque

leurs horaires d'ouvertures, en journée, correspondent à la production d'électricité photovoltaïque. Par exemple, à Zuzwil en Suisse, « la chaîne de supermarchés Migros exploite depuis novembre 2015 le premier supermarché à énergie «positive» de Suisse¹ ». L'installation de panneaux photovoltaïques sur le toit a été prévue dès la conception du magasin.

On ne compte plus les projets de mises en œuvre de réseaux microgrids² en Europe, aux Etats-Unis ou en encore en Asie, où le Japon fut probablement l'un des premiers pays à chercher des solutions locales à sa situation énergétique.

Dès 2011, des expérimentations virent le jour, notamment avec le très médiatisé projet « Brooklyn Microgrid » emmené par Siemens, LO3Energy et Consensys, déployé à l'échelle d'un quartier de la ville de New York aux Etats-Unis. En Australie, Power Ledger a initié en décembre 2016 « *le premier marché d'électricité résidentielle propulsé par une blockchain*³ ». A travers la blockchain

1 « Le supermarché à énergie positive en Suisse », le Journal du photovoltaïque, n°20 janvier-février-mars 2017

2 Voir encadré « microgrid ».

3 « Meet 5 Companies Spearheading Blockchain For Renewable Energy », James Ellsmoor, Forbes.com, April 27, 2019.



dédiée Ecochain, les propriétaires d'équipements solaires vendent ainsi leur surplus d'énergie.

En France, Lyon Confluence est le premier quartier durable labellisé par le WWF dans l'Hexagone avec 80% de la consommation d'énergie couverte par des énergies renouvelables produites sur place. Depuis 2016, un projet blockchain d'autoconsommation collective a été développé à l'initiative de Bouygues Construction, Microsoft et des startups Energisme et Stratum.

En juin 2018, un autre service d'autoconsommation collective d'énergie photovoltaïque a été déployé dans le village pilote de Premian, dans l'Hérault, en utilisant Sunchain, une blockchain de consortium française, sans minage et sans cryptomonnaie et dédiée à cette activité.

En Afrique, Electrased teste, depuis mai 2017, l'installation d'une centaine de kits

solaires autonomes formant leur propre réseau électrique adossé à une blockchain.

Au Bénin et au Kenya, l'Ubuntu Energy Ledger se développe en mettant en lien les producteurs et les entreprises publiques de gestion centrale d'électricité.

L'autoconsommation collective trouve dans les blockchains la brique de confiance nécessaire à leur déploiement. La production des installations solaires et les consommations électriques des participants sont cryptées, signées, et enregistrées dans une blockchain pour que la répartition de l'électricité entre chacun soit exécutée de façon automatique via smart contracts*.

La convergence d'un cadre réglementaire avec le développement informatique de ces technologies augure le développement progressif de ces initiatives et, à terme, un déploiement à plus grande échelle.

QU'EST-CE QUE L'AUTOCONSOMMATION ÉLECTRIQUE ?

L'autoconsommation électrique consiste à consommer tout ou partie de l'énergie renouvelable que l'on produit, la plupart du temps de l'électricité d'origine photovoltaïque. Selon Enedis, quelques 20 000 foyers français consommaient leur propre électricité fin 2017. Loin des 500 000 Allemands qui s'y sont déjà convertis.

En France, une loi du 24 février 2017, suivie par son décret d'application en avril de la même année, a mis en place des mesures en faveur de l'autoconsommation d'électricité en distinguant d'une part, l'autoconsommation individuelle, lorsqu'un individu consomme lui-même tout ou partie de l'électricité produite par son installation et d'autre part, l'autoconsommation dite collective.



QU'EST-CE QUE LES MICROGRIDS ?

Les microgrids correspondent à un modèle d'optimisation pour le réseau électrique. Selon la Commission de régulation de l'énergie, autorité administrative indépendante française, créée le 24 mars 2000 et chargée de veiller au bon fonctionnement du marché de l'énergie, ce sont « des réseaux électriques de petite taille, conçus pour fournir un approvisionnement électrique fiable et de meilleure qualité à un petit nombre de consommateurs.

Ils agrègent de multiples installations de production locales et diffuses [...], des installations de consommation, des installations de stockage et des outils de supervision et de gestion de la demande.

Ils peuvent être raccordés directement au réseau de distribution ou fonctionner en mode îloté et peut concerner différentes échelles du territoire (bâtiment, quartier, zone industrielle ou artisanales, village, etc.)¹ ».

Incitation à la production d'énergie solaire

Lancée en 2014, la fondation SolarCoin est une société américaine à but non lucratif, issue de l'article académique « Deko : une proposition de monnaie basée sur l'électricité ». C'est un programme de récompense, à l'instar des miles des compagnies aériennes ou ferroviaires, qui vise à encourager la production d'énergie solaire photovoltaïque à travers le monde.

La cryptodevise SolarCoin est versée, sur simple demande, à des détenteurs d'installations photovoltaïques sur la base de « un SolarCoin pour un mégawattheure produit ». Les jetons* collectés sont utilisables lors de transactions avec des commerçants, des fournisseurs de services ou d'autres partenaires du projet. L'objectif est d'inciter à la production d'énergie solaire en « récompensant » sur une période de 40 ans la production photovoltaïque de 97 500 TWh.

Les SolarCoin permettent de certifier l'origine solaire d'un megawattheure à

travers une blockchain. Les panneaux photovoltaïques des participants sont munis de capteurs qui inscrivent dans la blockchain SolarCoin les quantités d'électrons produites et reçoivent en échange les SolarCoins correspondants. Toutes ces données sont consultables par tous, la blockchain étant ouverte.

Chaque SolarCoin correspondant à la production d'actifs bien réels, des MWh d'origine photovoltaïque, leur création ne nécessite pas d'énergie ou de minage. A ce jour, sur les 97,5 milliards de SolarCoins prévus par le système,



52 millions sont en circulation¹. L'entreprise française ekWateur est un fournisseur de gaz, d'électricité et de bois d'origine renouvelable. L'entreprise s'approvisionne en énergie auprès de Smart Grid Energy et compense chaque année l'énergie consommée par ses clients, en achetant des Garanties d'Origine aux producteurs d'énergie renouvelable. Depuis le début de l'année 2018, ekWateur permet à

ses clients de régler leur électricité en SolarCoin. « Avec cette monnaie, 200 euros payés en SolarCoin sur la facture vont rémunérer 200 euros d'électricité solaire injectée dans le pot commun. C'est le flux financier qui garantit l'origine solaire de l'électricité² », explique Julien Tchernia, l'un des cofondateurs d'ekWateur, dont une dizaine de clients ont choisi ce mode de paiement.

¹ <https://medium.com/solarcoin>

² « Le «solarcoin», une cryptomonnaie alternative 100 % solaire », Claire Legros, Lemonde.fr, 17 mai 2018.

Financement participatif de la production d'énergies renouvelables

Le financement de la transition énergétique qui permettrait théoriquement de maintenir le réchauffement du climat en dessous de la barre des 2° d'ici 2100 nécessite des investissements colossaux afin de transformer, moderniser et développer de manière durable l'ensemble des infrastructures actuelles : 90 000 milliards de dollars US sur 15 ans selon une évaluation de la Banque mondiale. Pour mobiliser les capitaux nécessaires, en particulier auprès du secteur privé, l'innovation est de mise comme le confirme le troisième pilier de la stratégie du Secrétariat des Nations Unies pour le financement des Objectifs de développement durable.

Avec le développement des réseaux sociaux et pour faire face à l'insuffisance de financement d'amorçage pour les projets innovants, est apparu le financement participatif, crowdfunding en anglais.

appelé credit crowdfunding, crowdlending, peer-to-peer lending ou encore prêt participatif) ou enfin, un financement sous forme d'investissement au capital (dit *crowdequity*).

Il désigne des outils de transactions financières et des plateformes en ligne qui font appel à un grand nombre de personnes afin de contribuer au financement d'un projet. Ce type de financement est dit « désintermédié » car il ne passe plus par les acteurs traditionnels du financement. Il peut s'agir d'un financement sous forme de don (donation crowdfunding), contre une récompense (ou don avec contrepartie, en général un produit ou un service à venir), d'un financement sous forme de prêt (aussi

Le financement participatif dédié aux installations d'énergie renouvelable met donc en relation des porteurs de projets d'installation verte avec des particuliers et des entreprises souhaitant les financer. Ce financement prend principalement le forme de prêts participatif ou de capital investissement.

En France, Enerfip, Lendosphere ou encore Lumo, racheté en 2018 par la Société Générale, sont des plateformes de



financement participatif dédiées aux projets de transition énergétique et écologique comme des centrales photovoltaïques, des parcs éoliens ou encore des centrales hydrauliques.

Depuis sa création en 2012, Lumo a collecté auprès de 5 500 particuliers plus de cinq millions d'euros investis au profit d'une quarantaine de projets éoliens, photovoltaïques ou hydrauliques. L'ensemble produit quelque 260 millions de kWh d'électricité chaque année. Dans ce modèle, les particuliers sont rémunérés pour leurs prêts, fonctionnant ainsi comme un placement financier classique.

Par exemple, une centrale photovoltaïque située dans la commune de Sainte-Hélène (33) s'est vue financée par deux cents personnes à hauteur de 300 000 euros, selon un placement à cinq ans avec un rendement de 4,75 %.

Ces plateformes s'intéressent de près aux blockchains, et au SolarCoin en particulier.

Enerfip, Lendosphere et Lumo expérimentent depuis 2017 la gestion d'outils financiers participatifs, les minibons, en partenariat avec BNP Paribas Securities Services et la Caisse des Dépôts et Consignations (CDC). Créé en France par l'ordonnance du 28 avril 2016, le minibon est un bon de caisse taillé pour le fonctionnement des plateformes de financement participatif, dont Bercy a adapté la réglementation financière pour autoriser les expérimentations mettant en œuvre une blockchain. Ces minibons sont enregistrés dans une blockchain afin d'accélérer leur émission et de diminuer les coûts de transactions.

En plus des intérêts de leurs obligations ou minibons, les souscripteurs reçoivent également une quantité de SolarCoins correspondant à la production effective des projets solaires qu'ils ont choisi de financer, et qu'ils peuvent à leur tour dépenser auprès de fournisseurs d'énergie renouvelable.

FOCUS : UBUNTU ENERGY LEDGER

Créée en 2018, la jeune société béninoise Ubuntu Energy Ledger développe une application décentralisée* basée sur la blockchain EOS. Cette application décentralisée consiste à proposer aux particuliers, équipés de panneaux solaires, de revendre leur surplus d'électricité aux sociétés énergétiques d'État. Selon Vital Sounouvou, son fondateur, « *il y a une demande constante en consommation d'énergie pour les sociétés nationales. Le pic intervient le soir, quand les gens rentrent du travail et il coïncide souvent avec les moments de coupures. Ubuntu va ainsi aider les compagnies nationales à résoudre leur problème de fourniture d'énergie*¹. »

L'entreprise vend des panneaux solaires photovoltaïques aux particuliers et leur rachète, via un compteur connecté à la blockchain EOS, le surplus d'électricité qu'ils n'utilisent pas, pour le revendre ensuite aux sociétés d'État qui gèrent l'énergie. Les particuliers ainsi équipés gagnent en autonomie puisque l'électricité n'est vendue qu'à partir du moment où leur batterie est complètement chargée. Ils bénéficient également d'un flux de revenu supplémentaire qui leur permet, entre autres, d'amortir l'achat et l'entretien de leur panneau solaire.

Si le compteur connecté est relié via smart contract* à l'application décentralisée gérée sur la blockchain EOS, les moyens de paiement mis en œuvre pour régler les particuliers s'appuient sur des solutions locales de monnaie électronique (mobile money), et d'argent liquide, que les particuliers peuvent retirer dans les nombreux points de retraits associés aux opérateurs de monnaie électronique.

Ce dispositif permet d'éviter aux clients d'avoir à manipuler des cryptodevises.

L'entreprise a choisi de développer cette application décentralisée sur la blockchain EOS, concurrent d'Ethereum. La blockchain EOS, développée par Block.one, est open source et ambitionne de devenir un système d'exploitation décentralisé permettant le développement à grande échelle d'applications décentralisées. EOS envisage de supprimer complètement les frais de transactions et permettrait d'effectuer plusieurs millions de transactions par seconde.

Témoin de son succès, Ubuntu était l'un des finalistes du Hackaton mondial organisé par Block.one/EOS durant l'année 2018. Basée au Bénin et implanté en Côte d'Ivoire et au Maroc, Ubuntu Energy Ledger se développe en Tunisie et au Rwanda avant de s'implanter dans d'autres pays africains.



SYNTHÈSE

Le recours aux blockchains dans le domaine des énergies renouvelables sert à garantir l'origine verte de l'énergie consommée, mettre en relation, de manière automatisée et transparente, producteurs et consommateurs d'électricité à l'échelle locale, offrant un cadre technique de confiance à l'autoconsommation collective. Les blockchains trouvent également des applications concrètes pour inciter à la production d'énergie renouvelable, notamment avec SolarCoin qui fait office de leader dans ce domaine. A la croisée de l'argent programmable et de l'industrie de la production d'énergie, les blockchains permettent de financer et distribuer de manière originale la production d'énergie renouvelable et ainsi « garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable », l'Objectif de développement durable 7.

POUR ALLER PLUS LOIN - LES QUESTIONS SOULEVÉES

Quel est l'impact énergétique des mécanismes de consensus utilisés pour déployer une blockchain et des smart contracts* dans le domaine de l'énergie ?

Les bénéfices environnementaux dépassent-ils les coûts engendrés par les mécanismes de consensus assurant la sécurité des systèmes ?

Le microgrid est-il un réseau privé ou répond-t-il à une mission de service public ?

En ce cas, comment et surtout qui assurera sa maintenance, notamment lors de catastrophes naturelles ?

Quelles réglementations offriront un cadre de confiance au développement de l'autoconsommation collective en France, qui n'est à ce jour pas encore autorisée ?

L'énergie renouvelable sera-t-elle le nouvel étalon pour l'émergence d'un nouveau système monétaire mondial ?



BLOCKCHAIN

ET ACTION CLIMATIQUE



BLOCKCHAIN ET ACTION CLIMATIQUE

Les blockchains nourrissent l'espoir de faciliter le système de gouvernance prévu par l'Accord de Paris en lui conférant précisément l'ensemble des vertus qui font défaut à sa mise en œuvre : des engagements volontaires, décentralisés, traçables et potentiellement monétisables de pairs à pairs grâce à l'intégrité que confère ce tiers de confiance entièrement distribué entre les parties. C'est aussi un axe nouveau et prometteur pour la finance carbone et même la finance climat dans la mesure où une intégrité renforcée de l'opposabilité des tCO₂, qu'elles soient émises, réduites, évitées ou compensées ouvrent de nouvelles perspectives de valorisation et stimule l'attractivité pour les marchés de capitaux. L'ONU a reconnu l'intérêt des blockchains pour l'action climatique, et son Secrétariat de la Convention des Nations Unies sur le Changements climatique (CNUCC) ainsi que la Banque mondiale, encouragent désormais l'utilisation de blockchains et participent activement à la Coalition « Climate Chain » dont l'Institut Louis Bachelier est membre fondateur.

Au-delà des cas d'usage évoquées dans ce rapport l'enjeu fondamental est d'examiner la manière dont la Blockchain peut accompagner la mise en œuvre de l'Accord de Paris sur le climat et les bénéfices que les parties pourrait en retirer.

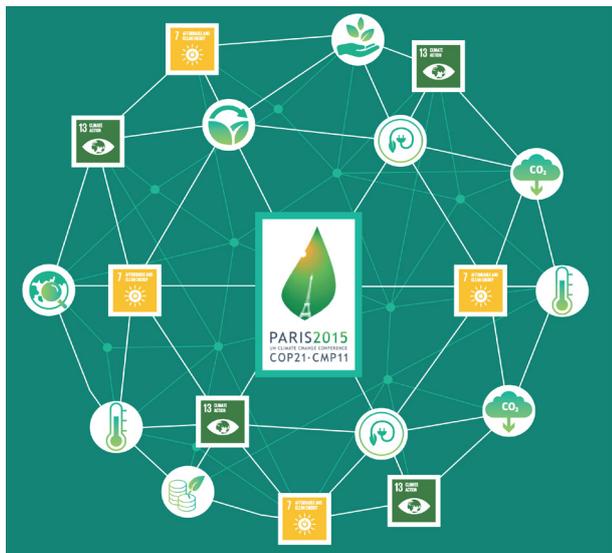
La colonne vertébrale de l'Accord réside dans la transparence des engagements des états à travers les INCD (Intended Nationally Determined Contributions, contributions volontaires nationales) conformément à l'Article 4. Cette logique rend indispensable un dispositif crédible de vérification des réalisations : les informations des Etats sur leurs engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre doivent être fournies en suivant des démarches transparentes et être insérées dans un système fiable de comptabilisation. Il s'agit du processus de MRV : measurement, reporting and verification .

Et, comme l'Accord prévoit des transferts financiers à hauteur de 100 milliards de

dollars par an à partir de 2020 à destination des pays en développement, un suivi des effets de ces flux est également nécessaire.

Les qualités intrinsèques des blockchains, en particulier la traçabilité, la transparence et l'enregistrement immuable des données sur le registre, sont clairement un atout pour la mise en place du reporting et le suivi d'actions dans le cadre de l'Accord de Paris. Un accord sur la création d'une blockchain mondiale du climat, en dépit de sa pertinence, a toutefois peu de chance de voir le jour. Une telle perspective n'est en fait pas forcément souhaitable pour se donner toutes les chances d'atteindre les objectifs de l'Accord de Paris.

Quand bien même les Nations, de nouveaux réunies face aux menaces écologiques, s'accorderaient à reconnaître les vertus d'une blockchain climatique, la meilleure option de mise en œuvre n'est sans doute pas celle d'une cryptomonnaie carbone unique et globale.



APPLICATION	POTENTIAL ADVANTAGES
 <p>Carbon markets: Enabling mechanism for trading and accounting of mitigation outcomes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Immutable audit trail of the creation and transfer of mitigation outcomes; • Facilitated trading with various granularity levels and units; • Lower transaction and management costs and increased transaction speed; • Traceability of emissions reductions and certificates trades across countries.
 <p>Climate finance: Facilitating and enabling of climate-smart investments through traceability of financial flows.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Enhanced accountability through traceability of capital flows; • Facilitation of earmarked and results-based financing; • Enabling of automated micro-payments to reduce micro-payments for loan repayment; • Reduced management and transaction costs.

Source¹

Marchés du carbone

Contextualisation

Plusieurs initiatives s'intéressent au potentiel des blockchains pour améliorer, simplifier et démocratiser les marchés du carbone. Les blockchains présentent en revanche peu de valeur ajoutée pour se substituer à des marchés organisés et centralisés.

Son utilisation repose sur les qualités intrinsèques d'une blockchain : une meilleure transparence et sécurité des transactions et des données enregistrées, des coûts de transaction réduits, mais aussi sur certaines fonctionnalités découlant des blockchains de deuxième génération : les smart contracts*, et la jetonisation* d'actifs. Des systèmes d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre, ou marchés du carbone ont été mis en place dans le cadre du Protocole de Kyoto via des programmes de « cap and trade », afin de stimuler les réductions d'émissions de CO2 du secteur privé selon le principe du « pollueur-payeur ».

Aux antipodes d'un acte politique d'envergure porté par la communauté internationale, comme la création d'une banque centrale du carbone ou d'un nouveau Fonds monétaire international du carbone, que l'économiste Michel Aglietta appelle de ses vœux pour en fixer et contrôler la valeur sociale, la solution la plus efficace et de loin la plus réaliste pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris se décline nécessairement au pluriel à travers la démultiplication des cas d'usage, portées par des modèles économiques très différenciés et que marginalement financiarisés.

A défaut du « grand soir » d'une Climate chain unique et mondiale, on compte déjà, depuis 2016, près d'un millier d'initiatives blockchain dans le monde, dédiées d'une façon ou d'une autre à lutter contre le changement climatique.

¹ UNEP DTU Partnership Report "CLIMATE CHANGE CHALLENGES AND BLOCKCHAIN OPPORTUNITIES", 2019.



L'objectif est d'envoyer un « signal prix » dans le marché pour inciter les industries et les entreprises concernées à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. Le principal marché du CO2 est en place en Europe depuis 2005 (European Union Trading Scheme - EU ETS), mais il en existe d'autres, comme le Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI) aux Etats-Unis.

Il existe également un marché volontaire où les particuliers et les entreprises peuvent acheter des crédits carbone pour compenser leur empreinte : elles financent ainsi des projets permettant d'éviter ou de réduire les émissions de CO2.

Le Protocole de Kyoto a créé le Mécanisme de Développement Propre (CDM), qui valide et mesure les projets qui aboutissent à des bénéfices environnementaux nets. De tels projets sont certifiés « CDM Gold Standard ». Les crédits carbone ainsi certifiés sont divers, incluant les Réductions Volontaires d'Emissions (VER), les Certificats Energie Renouvelable (REC), les Réductions d'Emissions Certifiées (CER) et le Carbon Offsetting Scheme for International Aviation (CORSIA) avec la mise en œuvre de l'Accord de Paris.

Le marché de la compensation volontaire est principalement un marché B-to-B, mais n'est pas strictement fermé au grand public et chaque personne peut compenser ses émissions propres via des « agrégateurs », qui sont en général des organisations non gouvernementales.

Simplification des marchés du carbone

Les atouts des blockchains, précédemment présentés, s'appliquent aux marchés du carbone.

L'enregistrement d'actifs sur une blockchain garantit la transparence des transactions et assure qu'elles sont valides et ont bien été réalisées. L'utilisation de smart contracts pour la réalisation des transactions permet de les automatiser et représente donc un gain en termes de temps, d'efficacité et de coût.

Les informations stockées sur le registre sont immuables, transparentes, traçables et consultables par les différents acteurs de la blockchain. Ainsi, il est facile pour une entité de suivre l'évolution de son empreinte carbone et donc d'anticiper les crédits carbone dont elle aura, ou n'aura pas besoin, tandis que le régulateur ou les organismes de surveillance peuvent mieux suivre la conformité des émetteurs de gaz à effet de serre aux objectifs de réduction des émissions.

Par exemple, IBM et Energy Blockchain Lab développent conjointement une plateforme blockchain d'échange d'actifs carbone en Chine, où les gros pollueurs peuvent acheter des crédits auprès des faibles émetteurs de CO2, pour aider les entités concernées à se conformer aux quotas gouvernementaux (CER Carbon Emissions Reductions).

Energy Blockchain Lab ambitionne d'être la première plateforme blockchain



mondiale dédiée au développement des actifs carbone. Pour le moment, 200 méthodologies de développement d'actifs carbone ont été compilées dans des smart contracts, de même qu'un module sur la blockchain qui automatise le calcul des quotas pour les entreprises qui doivent réduire leurs émissions. Un grand registre stocke et quantifie l'impact environnemental des activités des participants. L'information est sécurisée et le registre est transparent. Les participants peuvent facilement tracer leur empreinte carbone et mieux savoir quand acheter ou vendre des crédits carbone, tandis que les régulateurs peuvent mieux surveiller si les participants répondent aux objectifs de réductions des émissions.

Energy Blockchain Lab espère des réductions de coûts de développement des actifs carbone substantielles : entre -20 et -50% pour la première phase de son projet, de même que des gains d'efficacité remarquables, à la fois parce que les actifs carbone circuleront mieux sur les marchés, et parce que les qualités des registres distribués facilitent la collaboration et l'élimination des erreurs dans le transfert et le traitement de l'information. La maîtrise croissante de la technologie blockchain d'IBM aidera au développement d'actifs carbone plus performants et moins coûteux.

Par ailleurs, en liant un jeton à un actif environnemental, il est possible de déconnecter ce dernier de la sphère financière et spéculative. De la sorte, si un actif environnemental est valorisé

²<https://www.veridium.io/>

pour un jeton de crypto-monnaie, ce taux de conversion peut rester fixe indépendamment des valeurs financières de l'actif environnemental et de la crypto-monnaie. Le jeton est alors à la fois un actif, et une crypto-monnaie. En plus de maintenir une certaine stabilité de l'actif environnemental, l'emploi d'une crypto-monnaie comme véhicule peut favoriser l'unification des différents marchés du carbone vers une plateforme d'échange unique. C'est l'un des objectifs du projet Climate Coin.

Valorisation d'actifs carbone

Les crédits carbone sont plus facilement valorisables que la plupart des autres actifs environnementaux : jetoniser* une tonne de CO2 rend cet actif liquide sur une « place de marché ». La jetonisation* autorise la fragmentation d'un actif en plusieurs quantités équivalentes, chacune représentée par un jeton. Un tel procédé démocratise son usage en le rendant accessible au plus grand nombre. Il est possible de le fragmenter et d'adapter une nouvelle offre à une demande plus individuelle.

C'est le projet de la fondation Poseidon, qui ouvre la voie à la participation des consommateurs à la lutte contre le changement climatique.

En mai 2018, IBM a annoncé sa collaboration avec l'entreprise de fintech environnementale Veridium Lab Ltd pour jetoniser* des crédits carbone², afin de simplifier les procédés de calcul



des émissions et des compensations à acquérir ou à échanger par les entreprises polluantes, et donc in fine de diminuer les coûts.

L'objectif premier est de réduire les processus longs et coûteux réalisés par des analystes externes dont les méthodes de calcul peuvent donner des résultats divergents. « Ce que nous créons avec ce jeton est une méthodologie comptable pour automatiquement calculer l'empreinte carbone, [et] un instrument qui peut être échangé sur une bourse » explique Jared Klee, manager de l'offre blockchain chez IBM.

L'intégration du comptage du carbone et de la compensation dans un registre blockchain améliore la mesure de l'impact environnemental, du transfert de droits de propriétés, et du suivi des crédits carbone. Les jetons de Veridium sont adossés à des actifs environnementaux, dont les crédits carbone REDD+ (Réduction des Emissions dues à la Déforestation et à la Dégradation forestière³, qui attribue une valeur financière au carbone stocké dans les forêts) d'InfiniteEarth, et peuvent être échangés sur une bourse blockchain open-source et distribuée, gérée par la start-up Stellar. Les échanges des crédits carbone sont vérifiables sur le registre blockchain par tout acteur y ayant accès.

Financement de projets bas-carbone

Des blockchains facilitent le financement et le suivi des projets environnementaux

grâce à la jetonisation*. Si un projet est certifié « vert », et que les émissions carbone compensées par celui-ci sont mesurables et vérifiables (par des acteurs externes qui peuvent inscrire leurs certification sur une blockchain), alors il est possible de le financer par Initial Coin Offering (ICO*) : par exemple, pour chaque tonne de carbone compensée par le projet, ce dernier émet un jeton (donc un jeton égale une tonne de carbone) sur une blockchain. Les entreprises émettrices de gaz à effet de serre peuvent acheter des jetons et compenser ainsi leur propre empreinte carbone. Les fonds récoltés par l'ICO serviront au financement du projet.

Cet écosystème pourrait être organisé grâce aux smart contracts : l'inscription des certifications de la qualité du projet pourrait déclencher l'ICO, et l'inscription de la réalisation du projet pourrait déclencher l'échange des jetons contre des crédits carbone et l'envoi de preuves de financement du projet, de façon automatisée et décentralisée. Les entités jouiront en outre d'un effet d'image, puisqu'elles auront directement financé un projet vert.

Dans son article *Forget Paris: Building a Carbon Market in the U.S. using Blockchain-Based Smart Contracts*, Leonhard R.D propose un concept de marché de crédits carbone pour compenser l'empreinte carbone des entreprises à travers des projets de réduction de CO₂. Le retrait américain de l'Accord de Paris crée une incertitude

³ <https://www.purprojet.com/fr/conservation-forestiere/>



sur l'accès des projets de compensation à l'intérieur des Etats-Unis à un marché international du carbone. L'idée est que les universités américaines créent un marché appuyé par une blockchain en agissant en courtiers entre les organisateurs de projets environnementaux et les entreprises à la recherche de crédits carbone.

Le foisonnement des initiatives volontaires observé au sein de la coalition Climate Chain (voir ci-après) et au-delà de son périmètre est le ferment d'une dynamique nouvelle inscrite dans la logique de l'Accord de Paris : une approche consensuelle basée sur des engagements volontaires dont on se donne collectivement les moyens de mesurer, voire de récompenser l'impact.

Il s'agit de créer autant de « Point de loyauté » bénéficiant d'indice de confiance élevé pour stimuler et valoriser l'action climatique. Car là où l'Accord de Paris s'arrête au niveau des États qui l'ont ratifié, la « chaîne du climat » peut en prolonger l'esprit jusqu'aux interstices des communautés, des régions et surtout

des villes et des zones urbaines qui concentreront, d'ici dix ans, plus de 70% des émissions de gaz à effet de serre.

Armées de protocoles capables de connecter entre elles l'ensemble des initiatives des crypto-actifs dédiés au climat (comme le propose la technologie de Bancor), les blockchains climatiques dessinent la possibilité de faire émerger de toutes les strates la nouvelle valeur sociale du carbone (que Michel Aglietta appelle de ses vœux).

Et, ce faisant, de créer l'interopérabilité capable de fournir une image claire de l'empreinte carbone global et de son alignement à la trajectoire de l'Accord de Paris. Un tel schéma bénéficie également d'un avantage politique considérable par rapport aux initiatives centralisées de tarification du carbone : l'acceptabilité sociale forte propre aux initiatives ascendantes, issues du terrain local et communautaire, un enjeu de réconciliation des défis écologiques et sociétaux.



LES PRINCIPES DE LA COALITION « CLIMATE CHAIN » - CCC¹

Créé à Paris en décembre 2017,
la CCC réunit aujourd'hui 170 membres
à travers 44 pays.

1 Alignement sur les objectifs à long terme de l'Accord de Paris

Nous reconnaissons l'immense défi et l'urgence d'une transition mondiale vers une économie à faible intensité de carbone et résiliente quant au climat, et nous nous alignons sur les objectifs de l'Accord de Paris. Nous coopérerons pour soutenir les actions immédiates par et pour les blockchains et les solutions numériques connexes qui contribuent à la réalisation de cette transition.

2 Avancement des Distributed ledger technology (DLT) – Registres distribués, pour de meilleures solutions au changement climatique

Nous coopérerons pour soutenir l'avancement rapide de solutions de registres distribués permettant de faire face au changement climatique, par le biais de mesures d'atténuation et d'adaptation renforcées, y compris,

mais sans s'y limiter, la mesure, la notification et la vérification (MRV) de l'impact de toutes sortes d'interventions, et la mobilisation du financement climatique provenant de sources diversifiées.

3 Collaboration dans le cadre de la Coalition

Sur la base de ces principes et valeurs communes, nous collaborerons à des activités concertées et à la diffusion des résultats concernant les solutions de registres distribués et soutiendrons le renforcement des capacités des parties prenantes en ce qui concerne le déploiement d'outils et de systèmes communs pour faire progresser la gouvernance du changement climatique, notamment dans les pays en développement.

4 Neutralité technologique

Nous reconnaissons que les registres

¹ climatechaincoalition.io



distribués évoluent constamment et, par conséquent, nous maintenons une position neutre quant à leur applicabilité.

5 Engagement envers la normalisation

Nous collaborerons à l'établissement de normes de base pour l'élaboration d'outils connexes à l'appui de l'efficacité des applications de registres distribués pour la gouvernance du changement climatique.

6 Diffusion des avantages des registres distribués

Nous collaborerons à l'élaboration de solutions liées aux registres distribués dans une optique de contrôle des coûts, d'intégrité, de transparence et d'autonomisation des intervenants au sein de systèmes socioéconomiques.

7 Lutte contre la fraude

Nous collaborerons activement à l'élaboration d'une stratégie proactive visant à identifier et à atténuer les activités frauduleuses associées à la mise en œuvre de registres distribués dans la gouvernance du changement climatique et de la durabilité en général.

8 Responsabilité de relever les défis attribuables aux applications de registres distribués

En tant qu'organisations préoccupées par l'intégrité environnementale en général et le changement climatique en particulier, nous reconnaissons certains effets négatifs et les défis actuels de nombreuses applications de registres distribués (en particulier ceux qui utilisent des blockchains reposant sur la preuve de travail comme mécanisme de consensus) concernant leurs niveaux de consommation énergétique et leurs émissions de gaz à effet de serre. Nous sommes transparents et coopératifs, tout en cherchant activement des solutions appropriées pour relever ces défis.

9 Objectifs de développement durable

Nous reconnaissons que le changement climatique est l'un des objectifs de développement durable (ODD) et encouragerons le développement d'innovations basées sur les registres distribués pour le changement climatique qui peuvent simultanément contribuer à la réalisation de ces objectifs.

FOCUS : L'EXPÉRIENCE BEN & JERRY'S

Lancée en mai 2018, en partenariat avec la Poseidon Fondation, Ben & Jerry's propose aux consommateurs de compenser l'empreinte carbone de leur consommation de glace et d'acheter des crédits carbone en leur facturant une micro-somme supplémentaire pour chaque boule achetée, qui servira à acheter des crédits carbone. Une part de cette somme est comprise dans le prix du produit, et l'autre est au choix du consommateur s'il souhaite participer. Ces micro-transactions supplémentaires sont enregistrées, payées et gérées sur Stellar.

Poseidon

La Poseidon Foundation est une fondation à but non lucratif qui s'appuie sur Stellar pour améliorer la transparence et la traçabilité des processus liés à la conservation des forêts, et pour donner aux particuliers l'opportunité d'équilibrer l'empreinte carbone de leur mode de vie en supportant des projets de développement durable.

Le principe de Poseidon est que les consommateurs, par leur comportement et leurs choix de consommation, sont la clé de l'action climatique qui se fonde sur une modification des comportements. La « place de marché » de Poseidon vise à créer un marché du carbone unifié et globalisé à long terme. Les détaillants peuvent intégrer, via différents circuits (points de vente, sites Internet, applications mobiles...) des crédits carbone dans leur modèle de marché et dans les prix de vente de leurs produits en facturant un supplément aux consommateurs, générant ainsi des fonds pour des projets de développement durable.

Le comportement des consommateurs va s'en trouver affecté. Une application informe le consommateur de l'empreinte

carbone de ses achats et de ses crédits carbone avec les projets financés.

Poseidon soutient des crédits carbones basés sur des projets forestiers. La qualité des projets de réduction des émissions est assurée par Ecosphere+. Des smart -contrats extérieurs à la blockchain Poseidon (« off chain ») améliorent la flexibilité et la rapidité d'exécution des transactions.

Les informations importantes relatives aux crédits carbone sont stockées dans des smart contracts sur la blockchain, et chaque partie prenante peut les consulter et, dans le cas des parties compétentes, y ajouter des éléments comme, par exemple, les certificateurs de projets de réduction des émissions. Les niveaux d'accès aux informations dépendent du rôle et de la fiabilité des différents utilisateurs.

OCEAN est paradoxalement le nom du jeton de la blockchain Poseidon qui sert essentiellement à tokeniser* des crédits issus de projets agro-forestiers. C'est à la fois un instrument de paiement et un permis d'accès à la blockchain. La Fondation a reçu une première contribution d'environ 2,1 millions de dollars, et sa première levée de fonds a vu la vente

de plus de 13 millions d'OCEAN. Les détenteurs d'OCEAN disposent de deux types de wallet* : un pour les jetons dans la « public pool » et un pour les jetons dans la « liquidity pool ». Les jetons de la public pool sont accessibles à tous et servent à l'acquisition et à l'échange de crédits carbone sur la plateforme, et leur nombre est maintenu constant.

Les jetons de la liquidity pool (30% du total) sont toujours restreints à la plateforme Poseidon et ont pour objet de faire le pont entre les crédits carbone et les devises fiat et de valoriser les crédits carbone avec une seule crypto-monnaie. Cette réserve de liquidités doit éviter un assèchement de la plateforme, et donc son blocage.



SYNTHÈSE

Comme pour beaucoup de cas d'usage ayant un objectif sociétal, la valeur ajoutée des blockchains tient davantage à la possibilité de mettre en œuvre une nouvelle forme de gouvernance apte à créer une zone de confiance plutôt que de résoudre un verrou technologique. C'est précisément pourquoi il s'agit d'une infrastructure particulièrement adaptée à la mise en œuvre de l'Accord de Paris, celui-ci étant par nature distribué sans avoir encore finalement trouvé un système de gouvernance opérationnelle répondant aux différents critères du traité. L'enjeu consiste donc à proposer un protocole et un système de gouvernance en phase les critères énoncés dans les différents articles de l'Accord (notamment art 4, 6, 10 et 13) qui fasse consensus et crée un niveau d'intégrité et de confiance satisfaisant pour l'ensemble des parties aux négociations climatiques.

Dès lors que la réussite de l'Accord de Paris est subordonnée à des objectifs de transparence et de traçabilité, la mise à disposition de registres distribués, fiables et infalsifiables présente évidemment un grand intérêt pour crédibiliser les MRV. Les systèmes de trading de crédits entre professionnels présentent de facto moins d'intérêts sauf lorsqu'il s'agit d'étendre le mécanisme de monétisation des crédits carbone au grand public, soit directement soit associé à des actes de consommation comme le propose Ben & Jerry ou via des outils communautaires comme les monnaies alternatives.

La meilleure façon de démontrer la valeur ajoutée des blockchains pour l'action climatique reste de démultiplier ses cas d'usage, tout azimut et notamment qui permettent de réaliser des 'leapfrog' technologiques et administratifs, par exemple par la création de registres dans les nombreux pays ne disposant pas de ce type d'infrastructure. Une telle dynamique doit cependant veiller à identifier la nature et le périmètre des crypto actifs carbone du sous-jacent et à ne pas se faire au détriment des principes énoncés par la Coalition Climate Chain, et notamment la recherche de standards communs pour éviter le double comptage et bien entendu la recherche de protocoles efficaces énergétiquement et sobres en carbone.

POUR ALLER PLUS LOIN - LES QUESTIONS SOULEVÉES

L'impératif de coordonner les initiatives de blockchain climatiques rend de notre point de vue indispensable une forme de supervision onusienne ou d'institutions multilatérales comme la Banque mondiale ou le FMI afin de sécuriser les vertus multiples de cette technologie, notamment :

- Renforcer le suivi, la notification et la vérification des impacts de l'action climatique.

- Créer les conditions de mobilisation de la finance verte.
- Inciter à la standardisation des protocoles pour améliorer la transparence, la traçabilité et la rentabilité de l'action climatique.
- Veiller à mesurer et contrôler l'intensité énergétique des solutions
- Rendre les mécanismes d'incitation à l'action climatique accessibles aux plus pauvres et les connecter aux autres Objectifs de développement durable.

TOKENISATION

ET MESURE D'IMPACT





TOKENISATION ET MESURE D'IMPACT

La tokenisation serait-elle l'avatar d'une « économie de la précision, de la transparence » où les échanges de valeur se feraient en pair à pair tout en n'étant plus décorrés de leurs dimensions sociales et environnementales ? Les Objectifs de développement durable offrent des outils et un cadre d'évaluation de l'impact, positif ou négatif, de l'activité des organisations, à la fois sur les sociétés et sur l'environnement. La tokenisation de certains indicateurs de développement durable pourrait-elle contribuer à accélérer leur mise en œuvre, non seulement dans le domaine de la finance, mais dans d'autres domaines dont notamment l'électricité, le commerce responsable, la lutte contre le changement climatique ?

Qu'est-ce la tokenisation ?

L'expression tokenisation ou jetonisation, en anglais « tokenization », désigne le processus à travers lequel un actif et ses droits associés sont divisés en fractions, représentées sous la forme numérique d'un jeton, afin d'en assurer le suivi et d'en permettre les échanges, sans intermédiaire (blockchain publique) ou selon une gouvernance privée, à l'initiative d'un intermédiaire ou d'un groupe d'intermédiaires (blockchain privée ou de consortium).

Dans une perspective financière, « *des jetons virtuels et numériques représentent une forme de ressource économique ayant une valeur matérielle ou immatérielle (jetons monétaires, utilitaires, de sécurité) et peuvent être revendiqués et transférés selon les règles du registre distribué sous-jacent (...)* Dans ce contexte, la tokenisation consiste à désigner un actif (tel qu'un titre financier ou une autre forme spécifique d'information) et de créer sa représentation numérique via une blockchain, y compris les informations tenant à sa propriété. Cela garantit l'immutabilité de l'information et permet une accessibilité, une liquidité et

une négociabilité accrues via le protocole blockchain ».

Ainsi, la tokenisation se réfère à la numérisation d'actifs du monde réel ou d'instruments financiers utilisant les blockchains pour en assurer le registre et le suivi des échanges dans le but d'accroître leur liquidité, réduire les frais de transactions en se passant d'intermédiaires et assurer une transparence des transactions là où elle est requise. Les autres avantages de la tokenisation sont les suivants :

La tokenisation permet de rendre liquide des actifs réputés illiquides.

Par exemple, tokeniser la propriété d'un terrain, d'un immeuble ou d'une œuvre d'art en un nombre fini de jetons améliore considérablement sa liquidité, qui provient à la fois du caractère divisible de l'actif en jetons, et de leur interchangeabilité entre eux. Peut-être qu'un jour, une personne pourra tokeniser sa maison plutôt que contracter un prêt hypothécaire traditionnel. Au lieu de procéder à des versements hypothécaires, elle effectuerait des versements distribués via un smart contract aux détenteurs des jetons correspondant



à cette maison. Le fait de convertir en jetons des actifs relativement illiquides (immobilier, art, monnaies sociales...) et de les rendre échangeables sur un marché permet ainsi de réduire les « frictions aux échanges ». Autre exemple, mentionné dans ce livre blanc, la tokenisation de monnaies complémentaires au Kenya, à l'origine échangeable selon un format papier, permet de considérablement accroître leur liquidité puisqu'elles sont désormais numériques et convertibles à la fois en schilling kenyan, mais aussi en monnaies fiat (dollars, euros, yens...) et en d'autres cryptodevises.

La tokenisation permet de simplifier l'accès à la propriété. Par exemple, la première tokenisation en Europe d'un bien immobilier a eu lieu en juin 2019 à Boulogne-Billancourt (France). Ce bien immobilier « a tout d'abord suivi un processus de vente classique : un acte notarié a validé la valeur de l'immeuble et marqué le transfert de ce dernier vers une Société par Actions Simplifiée (SAPEB AnnA). Equisafe, plateforme d'investissements fonctionnant via la technologie blockchain, a ensuite enregistré cette société en tant qu'émetteur dans son système, avant de la diviser en une centaine de parts digitalisées (aussi appelées « tokens » ou « jetons »). Ces jetons ont ensuite été achetés par deux promoteurs immobiliers qui dorénavant exercent leurs droits de propriété sur l'immeuble via une blockchain. « La différence entre une opération classique et cette opération immobilière, c'est que les droits afférant à la propriété de la société qui détient cet

immeuble sont désormais entièrement codés dans la blockchain. Chaque jeton est ainsi codé pour renfermer les conditions d'achat, de vente et d'échange des titres, ainsi que les droits auxquels il donne accès (dividendes, vote...) » explique Bilal El Alamy, cofondateur d'Equisafe.

La tokenisation permet de rendre non fongible des actifs fongibles.

Par exemple, lorsqu'un poisson est pêché en mer australe et suivi le long d'une chaîne d'approvisionnement afin d'afficher, sur le point de vente, les informations correspondant à son parcours, ce poisson, à l'origine une chose fongible, ne pourrait pas être remplacé par un autre poisson. La tokenisation pourrait ainsi rendre non fongibles des actifs jusqu'à aujourd'hui par nature fongibles. La tokenisation de chaînes de production alimentaire permettrait-elle d'ouvrir la boîte noire du commerce international et sa kyrielle d'intermédiaires afin d'avoir une connaissance explicite des modes de production, de leur transport et de l'offre au consommateur ?

Autre exemple, le domaine de l'énergie trouve dans la tokenisation un réel intérêt : un parc éolien, des panneaux solaires ou des installations hydroélectriques dotés de boîtiers blockchain permettent de certifier, à la source, la production d'une énergie verte, chaque kilowatt heure produit correspondant à un jeton. La tokenisation de l'électricité participe du processus selon lequel un actif devient certifié puis entièrement tracé de son lieu de production à son lieu de consommation,



en privilégiant éventuellement des circuits courts entre les lieux de production et de consommation.

La représentation d'actifs sous la forme de jetons permet ainsi de suivre leur trajectoire, leur valeur d'échange, et de mesurer avec plus de précisions et d'exactitude leur impact sur les sociétés et sur l'environnement. Se concrétise peut-être le vœu de certains économistes, parmi lesquels Michel Aglietta, de mieux lier les activités de l'économie réelle avec les valeurs échangées sur les marchés financiers.

Jetons et mesure d'impact

L'analyse détaillée des 17 Objectifs de développement durable, en s'appuyant sur les 169 cibles (« sous-objectifs »), elles-mêmes adossées à une liste de 232 indicateurs individuels – statistiques ou qualitatifs, permettrait-elle d'identifier la manière dont certains de ces indicateurs pourraient être traduits en jetons, afin d'être mis en œuvre à travers des services déployés via des blockchains, et d'assurer, in fine, une meilleure efficacité de leur objet et de leur utilité ? Via une blockchain, des blockchains ? Publiques, privées ? Lesquelles ? Comment ?

Le suivi de ces indicateurs via des blockchains permettrait non seulement de s'appuyer sur la dimension transversale des Objectifs de développement durable, mais également leur nature systémique, qui, pris séparément, ne donne à chaque fois qu'une facette de l'information auquel ils se rapportent. Autrement dit,

la tokenisation de certains indicateurs de développement durable et agrégation informatique permettrait de suivre de manière dynamique une activité sans la sortir de son contexte.

Par exemple, l'Objectif de développement durable numéro 2 « faim zéro », propose de « d'ici à 2030, doubler la productivité agricole et les revenus des petits producteurs alimentaires, en particulier les femmes, les autochtones, les exploitants familiaux, les éleveurs et les pêcheurs, y compris en assurant l'égalité d'accès aux terres, aux autres ressources productives et intrants, au savoir, aux services financiers, aux marchés et aux possibilités d'ajout de valeur et d'emploi autres qu'agricoles » (cible 2.3). Les actifs qui pourraient faire l'objet d'une tokenisation sont la production agricole, les revenus des petits producteurs, dont une identité auto-souveraine permettrait de s'adresser à quiconque sur un pied d'égalité. Les terres pourraient faire l'objet d'un registre incorruptible, permettant à ces populations d'accéder à des ressources et diversifier leur activité.

La tokenisation de certains Objectifs de développement durable fait d'ailleurs déjà l'objet d'expérimentations. C'est notamment le projet de la Fondation ixo et de son jeton IXO. La blockchain ixo se veut un nouveau système d'exploitation pour l'économie d'impact, qui, « *en utilisant des standards blockchain, permet à chacun de collecter, mesurer, évaluer, valoriser et tokeniser des données d'impact vérifiées* »



Depuis 2015, le Fonds d'innovation de l'UNICEF et Innovation Edge ont fourni l'investissement de démarrage pour développer un premier projet appelé Amply. Amply est une plateforme pour le développement de la jeunesse, afin de suivre la fréquentation des écoles maternelles en Afrique du Sud, et suivre le système national de subventions gouvernementales.

Tous les matins, l'enseignante ou l'enseignant pointe la présence de chaque enfant dans l'application, ensuite vérifiée par un évaluateur, et créé ainsi « *une demande d'impact vérifiée* ». La demande vérifiée est ensuite soumise au gouvernement en échange de subventions vers les opérateurs scolaires pour prendre en charge les enfants défavorisés. Ce projet a aidé les enseignants à faire évoluer leur système papier de suivi des enfants, leur permettant d'économiser plus de 4 000 heures par mois. Depuis novembre 2016, le projet a pris de l'ampleur et fonctionne maintenant dans plus de 72 écoles et fait état de plus de 55 000 inscriptions .

Ce projet, développé en Afrique du Sud, est porté par la fondation ixo afin de mettre en place le protocole ixo, et permettre ensuite à de nouveaux projets d'émerger. Il serait prévu un programme de suivi de santé des mères atteintes du VIH ou encore, un programme de plantation de forêts, suivi par GPS.

Quiconque peut ensuite accéder au Global Impact Ledger (GIL) et parcourir un premier niveau d'informations générales

tenant aux Objectifs de développement durable. Les données sous-jacentes, spécifiques à chaque projet, ne seront accessibles qu'à partir du moment où le propriétaire des données l'autorise. Les jetons d'impact mis en œuvre à travers le protocole ixo ne pourront pas être échangés directement qu'avec le contrat intelligent d'échange d'impact décentralisé d'un projet clairement identifié, afin qu'il n'y ait aucune incitation du marché à les échanger par le biais de marchés secondaires.

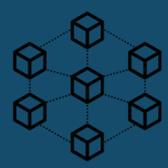
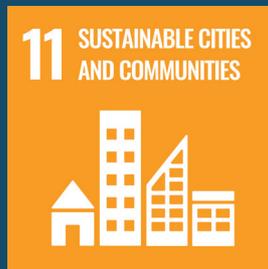
La tokenisation de titres financiers, de biens immobiliers, la tokenisation de l'électricité, la tokenisation du commerce international, la tokenisation de systèmes de crédit carbone sont autant d'exemples qui montrent, en filigrane, non pas un monde nouveau mais un monde dont la nouveauté consiste à ce que la valeur s'échange selon de nouvelles formes d'organisations, plus distribuées, écologiquement et socialement responsable, et où le rôle joué par les instances centrales traditionnelles va évoluer, se renouveler ou encore devenir obsolète.



DÉVELOPPEMENT



DURABLE BY DESIGN





DÉVELOPPEMENT DURABLE BY DESIGN

Comme nous l'aurons mis en lumière lors la rédaction de ce livre blanc, les blockchains et la tokenisation dont elles sont parfois le moteur, sont mis en œuvre à travers une variété d'initiatives permettant, entre autres de :

- Faciliter l'inclusion financière, notamment par l'envoi de fonds, d'aide humanitaire, de dons, ou par les micro-assurances et les micro-prêts.
- Renforcer la transparence et valoriser la qualité sociale et environnementale des chaînes de production et d'approvisionnement, notamment par la traçabilité de matières premières, la traçabilité de denrées agricoles ou maritimes.
- Améliorer l'efficacité de certains services publics et la vie des citoyens : transparence des dépenses publiques, vote, identité numérique, sécurisation des droits de propriété foncière etc.
- Développer l'offre de nouvelles formes de production et de consommation d'énergie, d'origine verte, locale et en pair-à-pair.
- Mettre en œuvre des registres carbone et des outils de mesure et de suivi des émissions et des engagements climatiques dans le cadre de l'Accord de Paris.
- Certifier, mesurer et valoriser l'impact des investissements financiers vers des projets contribuant aux Objectifs de développement durable.

La diversité de ces initiatives, dont beaucoup sont encore au stade de

l'expérimentation, est tout à la fois le reflet de la transversalité des Objectifs de développement durable et de la complexité des enjeux à l'œuvre.

L'apport fondamental de l'usage de blockchains tient dans leur capacité à valoriser des pratiques sociétales positives, et tout particulièrement celles correspondant à des indicateurs de développement durable. Cet apport fait d'ailleurs écho à la responsabilité sociétale des entreprises ou RSE (en anglais, Corporate Social Responsibility ou CSR), qui désigne la prise en compte par les entreprises, sur une base volontaire, des enjeux sociaux, écologiques et éthiques de leurs activités, au sens large du terme. La prise en compte des impacts sociaux et écologiques des entreprises ne dépend pas exclusivement de leur fait, mais porte sur l'ensemble des agents économiques avec lesquels elles interagissent. Cette évaluation de la responsabilité sociétale, transverse à l'ensemble des parties prenantes, est un facteur de complexité à la fois pour les entreprises et pour les organes de régulation. C'est aussi l'une des problématiques que proposent de résoudre l'usage de blockchains, en rendant transparent des chaînes de valeur complexes où beaucoup d'acteurs interagissent et peu se font confiance.

Selon l'association Entreprises Pour l'Environnement (EPE) et l'Observatoire de la RSE (ORSE), c'est aux entreprises de « définir leur stratégie de développement durable conformément à leur métier et à leur environnement économique, social et écologique, et choisir librement les moyens



d'atteindre les objectifs retenus, en accord avec les contraintes réglementaires ». Et c'est de ce principe de liberté que s'imposerait, aux entreprises engagées dans une démarche de RSE, « *un principe de responsabilité : rendre compte de leurs activités aux différentes parties prenantes et en assumer, le cas échéant, les conséquences* ».

La multiplication des engagements volontaires des organisations et l'expansion de l'espace normatif (soft law) de la RSE impulsée par cette dynamique rend nécessaire de renforcer la traçabilité de la mise en œuvre de ces engagements, pour les rendre opposables aux tiers et les valoriser dans différents contextes en tenant compte de la très (trop sans doute) large variété des référentiels en matière de RSE.

En France, suite au processus du Grenelle de l'environnement de 2007, les lois Grenelle I (2009) et Grenelle II (2010) ont considérablement renforcé les obligations des entreprises et les exigences de publications quant à leur responsabilité environnementale et sociale. Ces lois marquent la volonté de rendre transparent, vérifiable et certifié par des tiers indépendant les obligations des entreprises. A l'échelle européenne, l'EMAS, (eco-management and audit scheme, ou système de management et d'audit environnemental) est un règlement européen d'application volontaire, entré en application le 11 janvier 2010, et qui permet à tout type d'organisation d'évaluer, de publier et d'améliorer sa performance environnementale. Signe d'une prise de

conscience institutionnelle, la Commission européenne a publié, le 24 mai 2019, les premiers textes visant à transformer en profondeur les pratiques financières au sein de l'Union, dans le but de construire une taxonomie des activités dites durables, afin d'orienter les investissements et les capitaux au service des objectifs environnementaux européens.

Combiner la responsabilité sociale des entreprises et les Objectifs de développement durable, en enregistrant leurs interactions à travers des registres distribués, permettrait de rationaliser, par des référentiels techniques partagés, le recours à des outils de qualification et de mesure d'impact. Cela permettrait de progressivement basculer d'un système basé sur le déclaratif et la bonne volonté des entreprises, à un système qui qualifierait et quantifierait de manière automatisée, précise et fiable, les impacts tokenisés que produiraient et s'échangeraient les entreprises utilisatrices du système.

Le développement durable by design adossé à des blockchains

L'activité de n'importe quelle organisation, à but lucratif ou non, dans n'importe quel domaine d'activité revêt cette triple dimension économique, sociale et environnementale. Si la nature économique d'un projet est, en général, bien appréhendée par leur instigateur, qu'en est-il des dimensions sociales et environnementales ?

L'avenir pourrait-il voir la collecte automatisée d'indicateurs de



développement durable fiables via des protocoles blockchains, offrant une transparence partagée et une gouvernance distribuée, et dont la confiance, passé le stade de l'expérimentation, serait bien plus forte qu'avec les certifications actuelles opérées par des tiers de confiance, par nature faillibles et coûteux.

Les protocoles blockchains constituent un maillon décisif dans la chaîne de valeur technologique qui s'articule avec l'Internet des objets, les données massives (big data) et les outils d'intelligence artificielle. Il s'agit d'un élément déterminant permettant d'assurer notamment l'intégrité des données mais aussi pour le développement des modèles d'IA en facilitant par exemple le crowdsourcing de l'apprentissage en machine learning. Les blockchains renforcent la gouvernance, la sécurité et in fine la confiance nécessaire à une profonde évolution du mode de fonctionnement de nos sociétés contemporaines.

Comme le concept de *privacy by design* fut lancée par Ann Cavoukian dans les années 1990 au Canada, et appliquée partout en Europe trente ans plus tard, avec le Règlement Général sur la Protection des Données personnelles (RGPD), existera-t-il, pour n'importe quelle organisation sociale, une méthodologie ou une matrice d'un « développement durable *by design* », prenant en compte dès la conception d'un projet, ses dimensions sociale et environnementale, en plus de sa dimension économique ? Ce développement durable *by design* sera-t-il rendu obligatoire par la loi avant qu'il ne soit trop tard ? Sous quelle forme ?

Quelle en sera la législation ou la régulation ? Le concept de « développement durable *by design* » que nous appliquons aux blockchains converge avec l'approche « impact base » développé par l'UNEP-FI dans le cadre de l'initiative « Positive Impact Finance » : prendre en compte dès l'origine d'un projet son impact social et environnemental.

L'UNEP-FI, dans son rapport « Rethinking Impact to Finance the SDGs » insiste sur l'importance de développer ou d'infléchir des modèles économiques en s'appuyant sur leur impact positif et les Objectifs de développement durable. En facilitant la mise en œuvre des principes énoncés par l'UNEP, le développement durable *by design* pourrait s'appliquer à un projet autonome, portée par une communauté de personnes, un projet mené au sein d'une association, d'une organisation internationale ou encore d'une entreprise, privée ou publique, mais aussi à un projet d'entreprise au sens littéral et juridique du terme. Par analogie, le développement durable *by design* permettrait de s'attacher à la faisabilité d'un projet ou d'une activité selon sa viabilité environnementale et sociale, puis économique.

Les blockchains, dans toute leur diversité, pourraient permettre la prise en compte, le pilotage et un contrôle des externalités plus transparent, inclusif et fiable.

Signe des temps, le « développement durable *by design* » mobilise déjà une communauté grandissante, dont l'Organisation mondiale du design se fait l'écho. La World design organisation (WDO)



est une organisation non gouvernementale internationale qui promeut la profession du design industriel et sa capacité à générer de meilleurs produits, systèmes, services et expériences en prenant en compte l'environnement et la société. De 12 associations professionnelles fondatrices en 1957, WDO réunit aujourd'hui 140 organisations membres présentes dans 40 pays à travers quelque 400 000 designers, afin d'engager des travaux et collaborations au niveau international. WDO, qui a un statut consultatif spécial auprès des Nations Unies, s'intéresse de près aux Objectifs de développement durable. Selon le WDO, *« aujourd'hui plus que jamais, le design industriel privilégie l'accessibilité, l'abordabilité, la fiabilité, la durabilité ainsi que le respect de l'utilisateur et de l'environnement. Le design pour un monde meilleur est la philosophie même de la nouvelle génération de designers, qui accorde la priorité aux besoins humains, en trouvant le juste équilibre entre les hommes, la planète et le profit »*.

Les membres de WDO ont ainsi identifié sept Objectifs de développement durable qui semblent particulièrement bien se prêter au design industriel, et pour lesquels de très nombreux projets opérationnels ont été mis en œuvre par leurs membres depuis une dizaine d'années :

Les projets blockchains, appliqués au développement durable *by design*, pourraient permettre d'aller encore plus loin, notamment auprès des entreprises qui intègrent leur responsabilité sociétale au cœur de leur modèle économique.

En d'autres termes, le « développement durable *by design* » adossé à des initiatives blockchains permettrait de rendre compte, à travers des organisations autonomes décentralisées, d'une conduite responsable comme, par exemple, le recours à des énergies propres, le respect de filières d'approvisionnement éthiques, ou encore des investissements responsables. Mieux connaître la provenance de ses achats en poursuivant tout à la fois une perspective de rentabilité, mais selon des « indicateurs de développement durable garantis via des blockchains » permettrait, à terme, de rationaliser des filières entières pour assurer, en quasi-temps réel, des audits numériques inenvisageables aujourd'hui.

Les achats d'une entreprise pourraient être fléchés via des projets blockchains Objectifs de développement durable qui non seulement leur permettrait d'offrir au consommateur la preuve d'une conduite irréprochable, mais permettrait également à ces entreprises de quantifier, de manière très précise, et de manière quasi automatique, l'impact de leur propre activité, selon les indicateurs de développement durables auxquels, tôt ou tard, l'ensemble des organisations devront obligatoirement se conformer et publier.

Une entreprise qui s'engage dans une démarche de développement durable *by design* en s'appuyant sur des initiatives blockchains pour quantifier et prouver ses engagements en matière responsabilité sociétale ferait l'économie d'audits permettant de garantir que leurs actions s'inscrivent dans une démarche sociale, solidaire et écologique. De même, les



dirigeants disposeront de capacités accrues pour piloter et améliorer la qualité et la durabilité de leurs impacts.

Si cette perspective semble lointaine, nous espérons que ce rapport contribuera à la mise en place d'une feuille de route pour explorer plus en détails comment les blockchains peuvent favoriser la transformation et la supervision d'un développement durable généralisé. La rédaction de ce rapport s'inscrit dans cette perspective de soutenir la dynamique française autour du mouvement, plus global, des « Blockchains for good » notamment visible à travers des initiatives comme Positivblock, fondée par Lucas Zaehring, ou Blockchainforgood.us lancée aux Etats-Unis par Chelsea Rustrum. Les premiers jalons de cette démarche pourraient se concrétiser dès aujourd'hui à travers la mise en place de quelques recommandations.

Pour concevoir et piloter un mouvement alliant les Objectifs de développement durable à leur mise en œuvre à travers des registres distribués de type blockchain, nous proposons quatre grandes recommandations :

1. Favoriser l'émulation et la multiplication des cas d'usage, notamment par le développement d'un bac-à-sable réglementaire supervisé par les régulateurs.

Pour permettre d'instaurer un cadre propice à l'innovation, notamment de la part des Fintech, il s'agirait de permettre à ces acteurs de tester leur technologie ou

service à travers un cadre réglementaire allégé et pour une période précise, leur permettant de s'attacher d'abord à garantir l'impact positif des produits ou services développés avant de penser à leur réglementation. D'autres dispositifs de soutiens, notamment les innovations offices et le recours aux outils de régulation (RegTech) permettrait de soutenir les expérimentations portées par de jeunes entreprises et de créer ainsi un climat de confiance entre ces acteurs innovants et les instances de régulation.

2. Développer un consortium pour établir des standards, notamment de tokenisation et de mesure d'impact.

La « blockchainisation » et la tokenisation des Objectifs de développement durable et des mesures d'impact pourraient faire l'objet de standards définis à travers un consortium regroupant les différentes parties prenantes pour faire émerger des standards génériques tenant à leur conformité réglementaire, notamment liée au Règlement européen sur la protection des données personnelles (RGPD) ou encore au droit à l'oubli, mais également celle liée aux législations ayant pour but de prévenir l'usurpation d'identité, la fraude fiscale, le blanchiment d'argent ou le financement du terrorisme. L'objet de consortium permettrait également de stimuler les différentes parties prenantes selon une approche métier, finance, commerce, logistique, santé etc. afin de favoriser des standards propres à chaque filière sans toutefois perdre de vue la nécessité d'une interopérabilité globale, propre à la nature systémique



des activités des entreprises, à la fois entre elles et à destination des citoyens et consommateurs.

3. Créer un système de garantie et d'accréditation parapublique pour renforcer la confiance dans l'usage des blockchains.

Les initiatives exemplaires mises en lumière par un consortium « Blockchain for good » pourraient bénéficier d'un système de garantie et d'accréditation parapublique pour renforcer la confiance dans l'écosystème des blockchains supportant directement ou indirectement les Objectifs de développement durable, notamment dans le domaine de l'énergie, de la santé afin de créer des mécanismes d'incitation à l'usage de ces services. Ils pourraient aussi s'appuyer sur l'émergence de blockchain promues par les pouvoirs publics, par exemple dans le cadre du développement de crypto devises officielles, à la condition toutefois de présenter les conditions pour garantir et préserver l'autonomie et l'intégrité des plateformes privées.

4. Financer le développement d'une recherche interdisciplinaire sur le sujet.

La recherche scientifique et académique croisant les thématiques blockchain et sociétales est quasiment inexistante alors que la recherche sur les blockchains stagne en Europe à l'exception de quelques pays (UK, Allemagne, Suisse, Pays Baltes). Il est urgent de stimuler de nouvelles initiatives de recherche pluridisciplinaire, à l'image de la dynamique entourant « l'IA for Humanity », et s'inscrivant dans

la poursuite d'un ou plusieurs Objectifs de développement durable.

Les blockchains ne peuvent résoudre tous les enjeux liés aux Objectifs de développement durable mais sont susceptibles de constituer un maillon clé de la chaîne de valeur technologique permettant de faire face à une crise de confiance généralisée et à l'immensité des défis sociétaux et environnementaux. C'est une brique technologique très prometteuse pour soutenir de multiples cas d'usages privés, publiques ou hybrides à forte valeur ajoutée sociale et environnementales, inaugurant l'avènement progressif d'un développement durable *by design*.

LISTE DES ENTREPRISES & PROJETS ÉTUDIÉS

2give	Boomstarter network	ERC725
4NEW	CCCcoin	Ethic Hub
Abra	Change Bank	Everex
Afro	Charityspace	EverGreenCoin
Agora	Chromaway	EverLedger
AgriDigital	Chromaway & the green	EVRealities
Aid:Tech Transparency	asset wallet	Factory
Engine	Chromaway & Universal	Faircoin
AidCoin by CharityStars	Identity Hub	FairFood
AidTech Trace Donate	Circle	Femergey (anciennement
Product	Circle - Sparks	Mom's Avenue)
Akiri	Circles	FinTech4Good
Alice SI	Circulor	Floricoïn
Arcadia	Civic	Freedium
Ash Elements	Civil	Genesis Research &
Atala / IOHK	CleanCoin	Technology Group with
Bailbloc	Coinify	MVP Asia Pacific Inc.
BanQu	Comgo	GigaGiving
Batan	Core VC	Give Foundation
Benefactory	Crypto development fund	GiveCrypto
Bext360	Cyclean	GiveDirectly Lottery
BioCoin	DAOACT	GiveTrack, Ñ¢
BitDegree	Demeter	Goodcoin and the Car-
BitFury	DestiNeed	bonX token
Bithope	Disberse	Govcoin
BitNation	Distributed Giving Project	Granthero
Bitpesa	Donationcoin	Grassroot cooperative
Bloc	Donercoin	Gravity ID
Block Commodities (an-	e-Estonia	Grid Singularity
ciennement African Po-	Ecobit	Helperbit
tash)	Ecocoin	human coin
Blockchain Charity Fun-	Edgecoin	Humaniq
dation	Ehab	Humanity Road
BlockID	Electric Chain	Hypergive
Blockstack	Electron	ImpactMarket
Bond-i	Eloncity	Impak Finance

Ixo	Provenance & FairFood	Ubuntu Energy Ledger
JellyCoin	Provenance & Grass-	UnicoIn
KindTrust	Routs	uPort
KYC Chain	Provenance & IPNLF	Urban Array
Lemanex	Provenance & Martine	Utopi
Lition	Jalgaard	Veem
littlephil	Provenance & Soil Asso-	VenCoin
Lumo	ciation Certification	Veridium (+ IBM)
MazaCoin	Publicism	Voatz
ME SOLshare	Rebit	Votem
Modum	REC	Vottum
Moeda Seeds	RecycleToCoin	Wadappt
Mojaloop	Regalli	Wala
MonedaPAR	RhinoCoin	WePower
MONI	Rohingya Project	WeTrust Spring
Moyee	RootProject	WFP
Naked Passenger	Rupee Blockchain	Windhan
O,ÀôClaire	Sela	Wishcoin
Ocean Protocol	Selfkey	World Identity Network
Open SC	Sikka	World Peace Coin
Oradian/Stellar	SolarCoin	WorldRemit
philanthor	Soluna	Zero Carbon Project.
Plastic Bank	Suncontract	
PlayitOpen	supporter	
Po.et	Taqanu	
POI	TEO (ENGIE)	
Power ledger	TE-FOOD	
Project Bifrost	The Sovrin Foundation	
(ConsenSys Social Im-	The Sun Exchange	
impact, MakerDao, and	Tokken	
Dether)	Topl	
Project I AM	TREE Token	
Promise	TruBudget	
Proof of Purpose	Trusting Lending Circles	
Propy	by WeTrust	
Provenance & Coop	Ubuntu Coin	

GLOSSAIRE

Altcoin : Altcoin est la combinaison des mots « Alt » pour alternative et « Coin » pour bitcoin. Un Altcoin désigne toutes les cryptodevises alternatives au bitcoin. Depuis la création du premier bitcoin en 2009, le site coinmarketcap.com en dénombre 2360 au 22 juillet 2019.

API : En informatique, une interface de programmation applicative (en anglais Application Programming Interface) est un ensemble normalisé de classes, de méthodes ou de fonctions qui sert de façade par laquelle une blockchain va offrir des services à d'autres logiciels. Une API blockchain spécifie comment des programmes informatiques pourront se servir des fonctionnalités et des données distribuées accessibles dans le registre blockchain.

Atomic Swap : En finance, le swap, de l'anglais to swap – échanger, désigne un contrat d'échange financier. Dans le domaine des cryptomonnaies, un Atomic Swap désigne une méthode d'échange de jeton en pair-à-pair. Cette méthode repose sur un smart contract spécifique appelé « contrats à empreinte numérique verrouillés dans le temps » (hashed TimeLocked contracts (HTLCs)). Le principe repose sur la garantie que les deux personnes qui échangent des jetons le fassent réellement. Le smart contract* requiert que le destinataire d'un paiement accuse réception du paiement dans un temps imparti, en générant un récépissé cryptographique. Si ce n'est pas le cas, le destinataire perd le droit à accéder aux fonds qui sont retournés à l'expéditeur.

Arbre de Merkel ou arbre de hachage : En informatique et en cryptographie, un arbre de Merkel est une structure de données contenant un résumé d'information d'un grand volume de données. Le principe d'un arbre de hachage est de pouvoir vérifier l'intégrité d'un ensemble de données sans les avoir nécessairement toutes au moment de la vérification.

Contrat intelligent / Smart Contract : Selon le site Ethereum.org, les contrats intelligents sont « des applications qui s'exécutent exactement telles que programmées, sans possibilité de les arrêter, non censurables, sans fraude possible et sans interférence de tierce partie ». L'intérêt de ces contrats est qu'ils sont autonomes, répliqués dans tous les nœuds d'une blockchain, et que leur exécution ne passe pas par un tiers de confiance pour en garantir la validité. Plusieurs blockchains publiques permettent de mettre en œuvre des « contrats intelligents », dont notamment Achain, BitShares, Eos, Ethereum, Neo, Nem, NXT, Omni, Ontology, Qtum, Stellar ou encore Waves.

DApps : Application distribuée décentralisée (dApps) : il s'agit d'une application qui s'exécute sur les multiples nœuds d'un réseau. Les smart contracts en sont un exemple.

DAO : Decentralized Autonomous Organization / Organisation Autonome Décentralisée : Une DAO est une organisation fonctionnant grâce à un programme informatique qui fournit des règles de gouvernance à une communauté.

Ces règles sont transparentes et immuables parce que codées dans un réseau blockchain.

DEX Decentralized Exchange : Un échange décentralisé (DEX) est un type d'échange de cryptomonnaies qui fonctionne en pair-à-pair et sans intermédiaire. Contrairement aux plateformes d'échanges de cryptomonnaies, comme Binance ou Kraken, les échanges s'opèrent directement entre les utilisateurs, réduisant ainsi le risque de vol causé par le piratage des échanges, la manipulation des prix et garantissent un meilleur anonymat.

Fork (hard / soft) : En langage informatique, un fork – une scission en français, consiste à créer un nouveau logiciel à partir du code source d'un logiciel existant. Un soft fork apporte des modifications à la blockchain qui vont s'appliquer uniquement dans le futur, alors que les modifications introduites par un hard fork valent également pour le passé. Un hard fork consiste donc à réécrire le code source d'un protocole blockchain après son lancement.

Hash (fonction de) : Une fonction de hash est une fonction mathématique qui transforme n'importe quel contenu sous la forme d'un nombre hexadécimal. À la moindre modification du contenu, le nombre hashé devient totalement différent. L'intérêt d'une fonction de hashage est qu'elle ne s'applique que dans un sens : le hash obtenu ne permet ainsi pas de remonter au contenu d'origine, en revanche il suffit de hasher à nouveau ce contenu pour vérifier que le hash en

résultant est identique, preuve qu'aucune modification n'est intervenue. Les blocs de transaction d'une blockchain sont ainsi hashés et permettent d'avoir la garantie qu'ils n'ont jamais été modifiés depuis la première transaction.

ICO : Une ICO pour Initial Coin Offering, est une nouvelle manière, pour une entreprise, de lever des fonds à travers l'émission de jetons échangeables contre des cryptomonnaies. Contrairement à une IPO (Initial Public Offering) qui permet la cotation des actions d'une société sur un marché boursier, une ICO n'est pas encadrée par un régulateur financier.

Jeton / token et jetonisation / tokenisation : Un jeton est l'actif numérique échangé sur une blockchain. Le bitcoin est le jeton* de la blockchain Bitcoin. L'Ether est le jeton* de la blockchain Ethereum. Par extension, l'expression « tokenisation » désigne l'idée qu'un actif, quel qu'il soit, puisse être échangé sans intermédiaire. Le temps, l'argent ou encore l'énergie, un vote, le risque ou encore les objets. Tout pourrait se « tokeniser », ou plutôt, bien peu de choses ne pourraient pas l'être. La tokenisation et la décentralisation sur laquelle elle se fonde, participe de cette idée que, dorénavant, les gens pourraient s'échanger de la valeur directement, sans passer par un intermédiaire.

N'importe quel actif pourrait être converti en unité de compte, unique, numérique, et s'échangerait en pair à pair, de manière rapide et sécurisée. La tokenisation convertit la valeur d'un objet – un objet physique, comme un tableau, une maison,

un stock de grains, ou un objet immatériel, comme un crédit carbone, un point de fidélité, un droit au dividende ou de l'argent – en un jeton pouvant être échangé librement via une blockchain.

Lightning Network : Lightning Network, dont le livre blanc a été publié en 2016, est une évolution des blockchains de première génération, dont Bitcoin, et qui permet de créer des canaux de transactions pour réduire les frais et accélérer la vitesse des transactions opérées sur une blockchain. Fonctionnant « au-dessus » d'une blockchain, le Lightning Network permet d'effectuer des transactions via un réseau de canaux de paiement bidirectionnels sans délégation de la garde des fonds.

Monnaie fiduciaire, fiat money : La monnaie fiduciaire est la monnaie comprenant les pièces et les billets de banque, c'est un instrument financier dont la valeur nominale est supérieure à la valeur intrinsèque : la confiance (fiducia en latin) que lui accorde l'utilisateur comme valeur d'échange, moyen de paiement, et donc comme monnaie, repose sur un principe de garantie défendu par une institution centralisatrice. (Source : Wikipedia).

Oracle : dans le domaine des blockchains, un Oracle est une source d'information du monde physique sur laquelle est connecté un smart contract et dont les parties s'entendent sur la fiabilité des données. Par exemple, l'IATA pour les données liées aux vols aériens ou encore Météo France pour les données liées à la météorologie (précipitation, gel, neige etc.). Utilisée par des applications

décentralisées, les données d'un oracle, une entité de confiance, enclencheront les termes du smart contract. Par exemple, une assurance paramétrique remboursera automatiquement un agriculteur en cas de gel.

Proof-of-stake : La « preuve d'enjeu », ou « preuve de participation » désigne une méthode pour valider les blocs de transactions d'une blockchain. Elle demande à l'utilisateur de prouver la possession d'une certaine quantité de cryptomonnaie pour prétendre pouvoir valider des blocs supplémentaires dans la blockchain et pouvoir toucher la récompense, s'il y en a une, à l'addition de ces blocs. Ce mécanisme de consensus consiste à résoudre un défi informatique appelé minting (monnayage), opéré par des « forgeurs ». Il ne nécessite pas de matériel informatique puissant et consomme peu d'électricité. Pour valider un bloc de transactions, le forgeur met en dépôt une certaine quantité de cryptomonnaie et recevra une récompense lorsqu'il valide un bloc pour le blocage de ce capital. Si le forgeur procède à une attaque informatique en insérant de faux blocs de transactions dans la blockchain, la communauté, à partir du moment où elle s'en rend compte pourrait procéder à un hard fork*, ce qui entraînerait la perte des dépôts de l'attaquant. Vitalik Buterin, cofondateur d'Ethereum explique : « la philosophie de la preuve d'enjeu résumée en une phrase n'est donc pas "la sécurité vient de l'énergie dépensée", mais plutôt "la sécurité vient des pertes économiques engendrées par une attaque" ». Nombreux

sont ceux qui considèrent que le mécanisme de consensus reposant sur la preuve d'enjeu est une « technologie verte » et qu'il constitue l'avenir des blockchains.

REDD + : REDD+ (Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation) est un mécanisme mis au point par les parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), qui crée une valeur financière pour le carbone stocké dans les forêts en offrant aux pays en développement des incitations à réduire les émissions provenant des terres forestières et à investir dans des stratégies de développement durable à faibles émissions de carbone. Au-delà de la déforestation et de la dégradation des forêts, REDD + inclut le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'amélioration des stocks de carbone des forêts.

RFID : Identification par Radiofréquence, de l'anglais Radio Frequency identification, la RFID désigne une méthode d'identification de données à distance incorporés, sous la forme de tag, dans des objets ou des produits et comprenant une antenne associée à une puce électronique.

Sidechain (ou Childchain) : Une Sidechain est une blockchain secondaire ou parallèle conçue pour fonctionner à côté d'une blockchain primaire, publique, afin d'en accroître les capacités et remédier à leurs limites inhérentes, notamment de scalabilité. Le recours à une Sidechain permet de traiter des opérations sans solliciter la blockchain

primaire afin, par exemple, de réaliser des calculs spécifiques, ou encore de traiter des contrats intelligents dans un environnement privé avant que les données soient réinjectées dans une blockchain primaire, comme Bitcoin ou Ethereum.

Smart contract : voir contrat intelligent

STO : (Security Token Offering) : Une STO est une méthode de levée de fonds réalisée auprès d'une entreprise proposant des titres financiers sous forme de jetons (token). Voir également ICO.

Token : voir jeton.

Wallet (portefeuille) : Un wallet est un dispositif qui peut prendre la forme d'un support physique, d'un programme informatique ou d'un service, et dont l'objet est de stocker les clés publiques et/ou privées d'une cryptomonnaie. Un wallet peut également avoir comme fonction de suivre la propriété, recevoir ou dépenser des cryptomonnaies.

BIBLIOGRAPHIE

Livres

- « Mastering Bitcoin », Andreas M Antonopoulos, O'Reilly, January 20, 2015.
- « Bitcoin, la monnaie acéphale », Jacques Favier, Adli Takkal Bataille, CNRS Edition, 24 mai 2017.
- « Blockchain : La révolution de la confiance », Laurent Leloup, Eyrolles, 17 février 2017.

Rapports & études

- « Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger », Saveen A. Abeyratne, Radmehr P. Monfared, International Journal of Research in Engineering and Technology - IJ RET Volume 05, Issue-09 pp.1-10, September 2016.
- « Smart after all: Blockchain, Smart Contracts, Parametric Insurance, and Smart Energy Grids », Alan Cohn, Travis West, Chelsea Parker, Georgetown Law Technology Review. Vol 1:2, p. 273-304. 2017.
- « Supply chain, traçabilité & blockchain », Blockchainpartner.fr, juin 2017.
- « Use Cases for Blockchain Technology in Energy & Commodity Trading », Gunther Dütsch, Neon Steinecke, PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, July, 2017.
- « Blockchain in Development – Part I: A New Mechanism of 'Trust'? », Marina Niforos, EMCompass N°40, World Bank, July 1, 2017.
- « Blockchain and Economic Development: Hype vs. Reality », Michael Pisa, Matt Juden, CGD Policy Paper. Washington, DC: Center for Global Development, July, 2017.
- « Blockchain, supply chain et logistique : étude », blockchainpartner.fr, 10 juillet 2017.
- « Beyond Fintech: Leveraging Blockchain for More Sustainable and Inclusive Supply Chains », International Finance Corporation, EM Compass, Note 45, September 2017.
- « e-can.ch, Powerpeers, Grid+ Blockchain – Ces nouveaux modèles qui veulent rapprocher consommateur et producteur d'électricité », E-CUBE Strategy Consultants, 15 novembre 2017.
- « Sustainable Supply Chains: Better Global Outcomes with Blockchain », Sara L.M. Golden, Allison Price, New America. The Blockchain Trust Accelerator, January, 2018.
- « Building Block(chain)s for a Better Planet » World Economic Forum, PwC, Stanford Woods Institute for the Environment, 2018.

- « La blockchain dans le monde agricole : quels usages pour quels bénéfices ? », Acta - les instituts techniques agricoles, Atos, 1er semestre 2018.
- « Blockchain for Social Impact, moving beyond the hype », Doug Galen, RippleWorks, Stanford Graduate School of Business, 2018.
- « Bitcoin, totem & tabou. Que présage l'essor des cryptomonnaies ? » Yorick de Mombynes, Gonzague Grandval, Institut Sapiens, février 2018.
- « L'âge du web décentralisé », Clément Jeanneau, The Digital New Deal Foundation, avril 2018.
- « La blockchain et l'énergie », Revue de l'électricité et de l'électronique, <https://www.see.asso.fr>, n°2, avril-mai 2018.
- « Comprendre les blockchains : fonctionnement et enjeux de ces nouvelles technologies », Rapport n° 584 (2017-2018), Valéria FAURE-MUNTIAN, député, MM. Claude DE GANAY, député et Ronan LE GLEUT, sénateur, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 4 avril 2018.
- « Les enjeux des blockchains », Joëlle Toledano, France Stratégie, juin 2018.
- « Unlocking the potential of blockchain for agriculture », ICT Update, Issue N°88, <http://ictupdate.cta.int>, septembre 2018.
- « L'identité numérique : un usage de la blockchain au profit du citoyen », Djellil Bouzidi, Thibaud Frossard, Michael Mainelli, Terra Nova, 24 septembre 2018
- « Blockchain : passer de la théorie à la pratique. Les enjeux de la transformation pour l'adoption de la blockchain par les grandes entreprises », Frédéric Lau, Laurent Friscour, Publication Cigref, octobre 2018.
- « Responsible investment and blockchain, unpri.org », An investor initiative in partnership with UNEP Finance Initiative and UN Global Compact, 2018.

Articles de presse, par chapitres

Comprendre les blockchains...

- « Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System », Satoshi Nakamoto, sur bitcoin.org, November 1, 2008.
- « Les blockchains : une invention qui n'a pas dix ans » Jacques-André Fines Schlumberger, *La revue européenne des médias et du numérique*, La-rem.eu, N°44 Automne 2017.

- « Le Rapport de l'Office Parlementaire », Jacques Favier, Blog.lavoiedubitcoin.info, 16 août 2018.
- « Blockchain publique, ouverte, privée, fermée : québécois ? », Victor Gosselin, Medium.com/ownest, 20 novembre 2018.

...et ses enjeux environnementaux

- « IOTA token : une tangle crypto-currency », David Teruzzi, Blogchaincafe.com, 11 juillet 2016.
- « A Proof of Stake Design Philosophy », Vitalik Buterin, @Medium.com/ @VitalikButerin, 30 décembre 2016.
- « Electricity consumption of Bitcoin: a market-based and technical analysis », Marc Bevand, Blog.zorinaq.com, 10 mars 2017.
- « La dépense électrique des crypto-monnaies », Jean-Paul Delahaye, Bitcoin.fr, 30 octobre 2017.
- « La folie électrique du Bitcoin », Jean-Paul Delahaye, Pour la Science, N°484, février 2018.
- « La consommation énergétique est le talon d'Achille de Bitcoin », Jacques-André Fines Schlumberger, La revue européenne des médias et du numérique, La-rem.eu, N°45 Hiver 2017-2018.
- « World's first IOTA Smart Charging Station », Harm van den Brink, Blog.iota.org, 19 avril 2018.
- « Blockchain firm Soluna to build 900MW wind farm in Morocco », Ahmed Eljehtimi, Af.reuters.com, 9 août 2018.
- « Ethereum Plans to Cut Its Absurd Energy Consumption by 99 Percent », Peter Fairley, Spectrum.ieee.org, 2 janvier 2019.

Argent programmable et développement durable

- « Rosa Akbari : «La Blockchain apporte plus de traçabilité aux ONG» », Irène Frat, Latribune.fr, 27 décembre 2018.
- « Comment la blockchain est utilisée pour rendre les organismes de bienfaisance plus transparents », Helen Bennicke, Coinrivet.com/fr, 4 janvier 2019.
- « Bernard Lietaer, un guerrier de la justice financière qui s'est battu pour la liberté de la monnaie », Supportivy.com, 7 février 2019.

Pour des services publics plus efficaces

- « Household Welfare Effects of Low-cost Land Certification in Ethiopia. CLTS Working Paper », Holden, Stein T. and Hosaena Ghebru, No. 3/2011. Centre for Land Tenure Studies, Norwegian University of Life Sciences, As, Norway.
- « Ambition numérique : pour une politique française et européenne de la transition numérique », Yann Bonnet, Benoit Thieulin, Somalina Pa, Valérie Peugeot, Conseil national du numérique (CNUM), 18 juin 2015.
- « Bitnation, Pangea Jurisdiction and Pangea ArbitrationToken(PAT)The Internet of Sovereignty », White Paper, Susanne Tarkowski Tempelhof, Eliott Teissonniere, James Fennell Tempelhof et Dana Edwards, avril 2017.
- « Utiliser la blockchain pour rendre le cadastre plus fiable en Inde », Alexandru Oprunenco, Chami Akmeemana, undp.org, 9 mai 2018.
- « Accès pour tous à une identité numérique d'ici 2030 : les dirigeants africains, le Groupe de la Banque mondiale et les partenaires se mobilisent », Banquemondiale.org, 25 septembre 2018.
- « Real Estate Transaction Recording in the Blockchain in Brazil (RCPLAC-01) –Case Study 1 », Daniel Flores, National Archives of Brazil, University of British Columbia, 9 janvier 2018.
- « A blockchain-based land titling project in the republic of Georgia. Rebuilding public trust and lessons for future pilot projects », Qiuyun Shang, Allison Price, The MIT Press Journals - innovations, p.73, volume 12, Issue 3 – 4, Winter-Spring 2019.
- « Lutter contre les inégalités en Afrique », Ernest Harsch, Nations Unies - Afrique Renouveau, Un.org/africarenewal.
- « Au-delà des Bitcoins - La blockchain au service des ODD », Programme des Nations unies pour le développement (PNUD), <https://feature.undp.org/beyond-bitcoin>.

Pour un commerce responsable

- « Agriculture, agroalimentaire et blockchain », Claire Balva, blockchainpartner.fr, mai 2017.
- « Un marché équitable pour le cacao équatorien », ONU Développement, @Medium, janvier 2018.
- « How Blockchain Helps Smallholder Farmers in Developing Countries », Tim Hammerich, <https://futureofag.com>, 21 janvier 2018.
- « How Blockchain Helps Smallholder Farmers in Developing Countries », Tim Hammerich,

Futureofag.com, 24 janvier 2018.

- « RDC : un projet-pilote de traçage électronique pour un «cobalt éthique» », Maimouna Dia, Afrique.latribune.fr, 28 mars 2018.
- « UN World Food Program taps blockchain startup for school lunch tracking in Tunisia », Tim Hinchliffe, <https://sociable.co/>, 4 avril 2018.
- « Devery & United Nations World Food Programme use Blockchain to ensure the safe delivery of food to children in North Africa », Andrew Rasheed, [Medium.com/devery-io](https://medium.com/devery-io), 4 avril 2018.
- « Cobalt : La blockchain testée en RDC pour éviter le travail des enfants », Ludovic Dupin, novethic.fr, 23 avril 2018.
- « AgUnity, de bonnes bases pour de meilleures chaînes de valeur », Jaclyn Bolt et Ossen Senou, <https://www.cta.int>, 13 décembre 2018.
- « Blockchain et chaîne logistique : suivre les objets ou rendre responsables les gens qui les suivent ? », Jacques-André Fines Schlumberger, Blockchain-x.eu, 6 janvier 2019.
- « This Blockchain Startup Is Partnering With Fashion Giants To Make Organic Cotton Traceable », Alex Knapp, Forbes.com, 4 mars 2019.

Pour une énergie solidaire

- « Le supermarché à énergie positive en Suisse », le Journal du photovoltaïque, n°20 janvier-février-mars 2017.
- « TransActive Grid, le réseau d'énergie intelligent à Brooklyn », Iris V. Naudin, medium.com, 22 mars 2017.
- « L'autoconsommation solaire en pleine révolution ! », Baptiste Clarke, actu-environnement.com, 10 avril 2017.
- « La « blockchain » ouvre le champ des possibles pour la « smart city » », Jessica Gourdon, Lemonde.fr, 27 septembre 2017.
- « La blockchain et l'autoconsommation : vers une évolution du rôle de distributeur ? », Energie.sia-partners.com, 12 février 2018.
- « Solaire : l'autoconsommation collective bientôt sur les rails ? », Dominique Pialot, LaTribune.fr, 17 mars 2018.

- « Engie et Air Products collaborent dans la blockchain », Jean-Noël Legalland, Boursier.com, 10 avril 2018.
- « Le «solarcoin», une cryptomonnaie alternative 100 % solaire », Claire Legros, Lemonde.fr, 17 mai 2018.
- « Faire bénéficier les Africains de l'énergie de leur soleil », Enedis, Afrique.latribune.fr, 3 août 2018.
- « Lition aide les ménages allemands à économiser 20% sur leur facture énergétique », Nikita Mittal, Theblockchainland.com, 7 novembre 2018.
- « Meet 5 Companies Spearheading Blockchain For Renewable Energy », James Ellsmoor, Forbes.com, 27 avril 2019.

Blockchain et action climatique

- « SolarCoin: Un actif digital au service de la Transition Energétique », Solarcoin.org.
- « Livre blanc de ClimateCoin » : Climatecoin.io.
- « Livre blanc de Poseidon » : Poseidon.eco.
- « Renewable energy statistics » ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained
- « Qu'est-ce que la blockchain peut apporter aux Smart Grids ? », Mélissa Petrucci, les-smartgrids.fr, 2 octobre 2017.
- « Can the Brooklyn Microgrid project revolutionise the energy market? », Urszula Papajak, medium.com, November 27, 2017.
- « Forget Paris: Building a Carbon Market in the U.S. Using Blockchain-Based Smart Contracts », Robert Leonhard, SSRN 3082450, December 4, 2017.
- « Climatecoin : la première cryptomonnaie neutre en carbone », Les clés de demain, Lesclesdedemain.lemonde.fr, 23 janvier 2018.
- « A Microgrid Grows in Brooklyn », Hubertus Breuer, Siemens.com, February 16, 2018.
- « Climatecoin: Making Carbon Credit Trading Accessible On The Blockchain », William Thrill, Hackernoon.com, Mar 5, 2018.
- « Poseidon with Stellar blockchain to reduce carbon footprint », Charles Brett, Enterprisetimes.

co.uk, April 13, 2018.

- « How Blockchain Can Help Increase the Security of Smart Grids », Andrew Arnold, Forbes.com, Apr 16, 2018.

- « Ben & Jerry's se lancent dans les crédits-carbone via la blockchain de Stellar », Rémy R., Journalducoin.com, 30 mai 2018.

- « Now, blockchain can turn carbon credits into tokens for trading », Lucas Mearian, Computerworld.com, May 31, 2018.

- « IBM and Veridium Join Forces to Bring Carbon Credits Onto the Blockchain », Pr.blonde20.com/veridium-ibm, december 2018.

- « Blockchain Potentials and Limitations for Selected Climate Policy Instruments », Sven Braden, Climate Ledger Initiative, Mars 2019.

- « Climate change challenges and blockchain opportunities », UNEP DTU Partnership Report, 2019.

La jetonisation des Objectifs de développement durable

- « La communauté Ethereum en France », Vidal Chriqui pour Blockchain Planète, Zdnet.fr, 23 février 2019.

- « The Token Classification Framework: A multi-dimensional tool for understanding and classifying crypto tokens », Thomas Euler, Untitled INC, January, 2018.

- « Rethinking impact to finance the SDGs, a position paper and call to action prepared by the positive impact initiative », United Nations Environment Programme Finance Initiative, unepfi.org, November 2018.

LES AUTEURS

Jacques-André Fines Schlumberger

Docteur en sciences de l'information et de la communication, après un Master de sciences politiques et une maîtrise de droit des affaires, Jacques-André Fines Schlumberger est entrepreneur, depuis les années 2000, sur des sujets d'innovations sociales et numériques, et enseignant à l'Université Paris 2 Panthéon-Assas. Il s'intéresse aux blockchains et leurs applications pratiques depuis 2015.

Patrice Geoffron

Patrice Geoffron est professeur d'économie à l'Université Paris-Dauphine et docteur en économie industrielle. Après avoir été vice-président international de Paris-Dauphine, il en dirige l'équipe énergie-climat qui anime un Master (Énergie-Finance-Carbone) et plusieurs chaires de recherche (Économie du Climat, Marchés Européens de l'Électricité, Économie du Gaz, Climate Chain).

Stéphane Voisin

Stéphane Voisin, de l'Institut Louis Bachelier, coordinateur du programme de recherche « Climate Chain » associant la Caisse des Dépôts et responsable du programme interdisciplinaire de recherche « Green & Sustainable Finance ».

Pierre Champsavoir

Fondateur du cabinet COREUM Consulting, Pierre intervient sur des projets de transformation, principalement auprès du secteur financier, en particulier sur le continent Africain. Il propose une vision prospective sur les perspectives d'une finance durable, ancrée dans une culture de la gestion des risques, qu'il partage et enrichit lors de ses échanges avec une large typologie d'acteurs : banques centrales, banques commerciales, institutions d'inclusion financière, startup fintech et émetteurs de monnaies alternatives.

CONTRIBUTEURS

Anne-Cécile Ragot, There are other alternatives (TAOA),

Noémie Dié, Token Economy, PhD Candidate, Blockchain for good / Sustainable & distributed Finance.

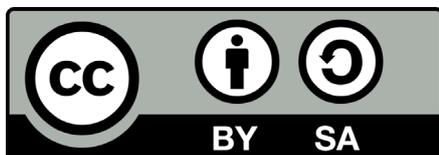
COMITÉ DE LECTURE

Alejandro Gómez, Conseiller et cofondateur, Africa 21,

Analía Ramos, Scrum Master & Technical Writer at PegaSys Protocol Engineering,

Philippe Denis, Fondateur de Near & Far.

Licence Creative Commons



Ce(tte) œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International.

Crédits photos / images

Composition couverture : Damien Cazeils et Myriam Kasmi

Images par Public Domain Pictures de Pixabay

Alex Duffy @some_random_guy de Pixabay

Jacqueline Schmid de Pixabay

Arek Socha de Pixabay

Directeur de la publication : Jacques-André Fines Schlumberger - Mai 2020.
bonjour@blockchain-x.eu



BLOCKCHAINS ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Le point de départ de ce rapport est le suivant : « *les blockchains peuvent-elles permettre d'accélérer la réalisation des Objectifs du développement durable, et ce de façon significative et soutenable ?* ». Une telle ambition soulève d'innombrables questions. Est-il possible concilier certaines blockchains et la dépense énergétique nécessaire à leur fonctionnement avec les Objectifs de développement durable ? Existe-t-il des blockchains publiques dont la sécurisation des transactions n'a pas le même impact énergétique ? La démultiplication des cas d'usage de « Blockchains for good » résulte-t-elle d'une convergence naturelle entre les principes de transparence, de traçabilité, de collaboration et de décentralisation notamment qui sous-tendent les registres distribués de type blockchain et qui sont implicites aux Objectifs d'un développement durable ?

Nécessairement parcellaire, cette première étude aura permis de définir les grands principes et l'articulation d'un écosystème de monnaies dites programmables ou encore de crypto-actifs reliant différents protocoles blockchain à la poursuite des Objectifs de développement durable. L'analyse de nombreux projets, dont certains ont d'ores et déjà dépassé le simple stade de la preuve de concept, permet également de valider la pertinence et l'efficacité des modèles s'appuyant sur une architecture technique qui distribue la confiance entre ses utilisateurs, selon des règles prédéfinies, et une gouvernance sans tête ni centre, augurant de nouvelles interactions sociales.