

Blockchains & développement durable

2022

“

Alors que la plupart des technologies ont tendance à automatiser les travailleurs de la périphérie, qui effectuent des tâches subalternes, les blockchains automatisent le centre. Au lieu de mettre le chauffeur de taxi au chômage, les blockchains mettent Uber au chômage et permettent aux chauffeurs de taxi de travailler directement avec leurs clients".

Vitalik Buterin, 30 septembre 2015

in « *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World* », Don Tapscott, Alex Tapscott, Penguin, 10 mai 2016 - ISBN 9781101980156

A PROPOS



Écosystème, *Blockchain for Good* est une association de fait depuis 2018 et une association de loi 1901 depuis 2021. Elle a pour objet de valoriser, promouvoir, soutenir et contribuer à la recherche fondamentale et appliquée en matière d'innovations numériques, favoriser et accompagner le partage d'expériences entre l'écosystème des blockchains et les acteurs du développement durable, et promouvoir un cadre législatif et normatif favorable à l'innovation.

NOS PARTENAIRES



La **chaire Blockchain@X de l'École Polytechnique** a pour vocation d'allier excellence académique avec prestige institutionnel et scientifique afin de favoriser l'innovation en matière de blockchain. Pionnière dans son domaine et soutenue par Capgemini, Nomadic Labs et la Caisse des Dépôts, elle rassemble des scientifiques en informatique et en économie dont les recherches portent sur les blockchains et les technologies associées. La chaire propose également une offre variée de cours aux étudiants de l'École Polytechnique désireux de s'initier à ce domaine en mutation constante, et contribue à l'organisation de conférences académiques internationales telles que Tokenomics ou Future.s Of Money (FOMPARIS).



La **Caisse des Dépôts** et ses filiales constituent un Groupe public, Investisseur de long terme au service de l'intérêt général et du développement durable des territoires. La Blockchain est un enjeu stratégique majeur pour la Caisse des Dépôts, ses métiers et ses clients. Créé en 2015, le Programme Blockchain & Cryptoactifs identifie et implémente des cas d'usages à valeur ajoutée, dans le cadre de projets industriels (Archipels, Liquidshare) ou de partenariats (LaBChain, IRT SystemX), au service du Groupe Caisse des Dépôts et en soutien de l'écosystème, accompagne les acteurs publics dans le déploiement de ces technologies, et contribue aux débats réglementaires pour construire un cadre adapté, au service des enjeux de souveraineté français et européens.



L'**Institut Louis Bachelier** (ILB) est une association de loi 1901, créé en 2008, sous l'impulsion de la Direction Générale du Trésor et de la Caisse des Dépôts et Consignations. L'ADN du Groupe Louis Bachelier (ILB, FdR, IEF) est la recherche scientifique, qui favorise le développement durable en Économie et Finance. Actuellement plus de 60 programmes sont hébergés à l'ILB, avec un focus sur quatre transitions sociétales : environnementale, digitale, démographique et financière. Les activités visent à engager des académiques, des entreprises et des pouvoirs publics dans des programmes de recherche ainsi que dans les manifestations scientifiques et autres forums d'échange.



Bpifrance finance les entreprises - à chaque étape de leur développement – en crédit, en garantie et en fonds propres. Bpifrance les accompagne dans leurs projets d'innovation et à l'international. Bpifrance assure aussi leur activité export à travers une large gamme de produits. Conseil, université, mise en réseau et programme d'accélération à destination des startups, des PME et des ETI font également partie de l'offre proposée aux entrepreneurs.

PB PositiveBlockchain.io

PositiveBlockchain.io est tout à la fois une base de données ouverte, un média et une communauté qui explore le potentiel des technologies blockchains à impact social et environnemental. Ils aiment à s'appeler des « Blockchain Positivists ».



La **Fondation ELYX** sous l'égide de la Fondation Bullukian est reconnue d'utilité publique. Ses programmes ont pour vocation de faire de l'Agenda 2030 un succès, de participer à une culture ambitieuse et inclusive, et de valoriser l'innovation comme levier pour 2030.

L'Association Blockchain for Good publie des analyses indépendantes et les opinions exprimées dans ce rapport n'engagent que leurs auteurs et ni les individus ou les organisations consultées, ni nos partenaires, l'Institut Louis Bachelier, la chaire Blockchain@X de l'École Polytechnique, créé avec le soutien de Capgemini, NomadicLabs et la Caisse des dépôts et des Consignations, le Groupe Caisse des dépôts, la Banque Publique d'Investissement, PositiveBlockchain.io et la Fondation Elyx.



Les contenus de ce rapport sont mis à disposition selon les termes de la **Licence Creative Commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International**. Vous êtes autorisés à : Partager — copier, distribuer et communiquer le rapport par tous moyens et sous tous formats. Adapter — remixer, transformer et créer à partir du rapport selon les conditions suivantes : Attribution — Vous devez créditer le rapport, intégrer un lien vers la licence et indiquer si des modifications au rapport ont été effectuées. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens raisonnables, sans toutefois suggérer que l'Offrant vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son rapport. Pas d'Utilisation Commerciale — Vous n'êtes pas autorisés à faire un usage commercial de ce rapport, tout ou partie du matériel le composant. Partage dans les Mêmes Conditions — Dans le cas où vous effectuez un remix, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant le rapport original, vous devez diffuser le rapport modifié dans les mêmes conditions, c'est à dire avec la même licence avec laquelle le rapport original a été diffusé. V.1.1

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. Il est enseignant à l'Université Panthéon-Assas (Paris 2) et auteur pour *La revue européenne des médias et du numérique*. Il s'intéresse aux blockchains et leurs applications pratiques depuis longtemps, et sous le prisme du développement durable depuis 2018.

Pierre Noro. Après plusieurs années passées au sein des programmes Blockchain et Cryptoactifs de la Caisse des Dépôts et des Consignations, Pierre Noro accompagne désormais des entreprises dans la conception et le développement de nouveaux services blockchain à impact social positif. Il est enseignant à Sciences Po Paris, au *Learning Planet Institute* (Université Paris-Cité) et chercheur. Outre ses travaux sur la gouvernance décentralisée et les problématiques éthiques dans le numérique, il collabore notamment au projet de vote en ligne décentralisé Pebble.vote.

Lucas Zaehringer. Co-fondateur de Positiveblockchain.io, Lucas Zaehringer explore les liens entre blockchain et impact social depuis 2017. Il est également Lead Europe chez Verity Tracking, une startup qui utilise la blockchain et la tokenisation pour décarboner les biocarburants et les chaînes de valeur biosourcées en lien avec les matières premières agricoles.

CONTRIBUTEURS

Pierre Champsavoir, Expert en gestion des risques et finance durable.

Noémie Dié, Doctorante en économie à Télécom Paris et Bpifrance Le Lab.

Alejandro Gómez, Christophe Gbossou, Membres experts, Africa 21.

Audran Gouis, Etudiant à Sciences Po Paris, Ecole d'Affaires Publiques.

Ani Ramos, Co-fondatrice de Positiveblockchain.io, Product Manager @Palm NFT Studio.

Razali Samsudin, Chercheur indépendant, Éducateur, Co-fondateur de Sustainable ADA.

RELECTEURS

(Légende : I = introduction ; Chapitre = 1 à 12 ; C = conclusion - Les liens renvoient vers le réseau social LinkedIn)

Géraud Ahouandjinou (10), **Hervé Alexandre** (2), **Daniel Augot** (1), **Louis Bertucci** (I, 4, 8, 11), **Pierre Champsavoir** (I, 1, 2), **Martin Chazelle** (1, 2, 10), **Noémie Dié** (I, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), **Christophe Gbossou** (1, 2, 3, 10, 12), **Patrice Geoffron** (4), **Alejandro Gómez** (1, 2, 3, 6, 7, 10, 12), **Audran Gouis** (I, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), **Thibaud Huriez** (1, 2, 5), **Pascal Lafourcade** (3), **Thibault Langlois-Berthelot** (1), **Mathieu Lesueur** (5), **Paul Pflimlin** (1, 2, 5), **Ani Ramos** (7), **Paul Rivière** (1, 2, 10), **Stéphane Voisin** (4), **Lucas Zaehringer** (I).



SYNTHÈSE

Ce rapport s'inscrit dans la continuité des travaux de l'association Blockchain for Good, et notamment de la publication d'un premier rapport publié en juin 2020. Tous deux tentent de répondre à la question de savoir si et **comment les blockchains pourraient-elles permettre d'accélérer la réalisation des Objectifs du développement durable**, et ce de façon significative et soutenable ? Quelles blockchains, quels Objectifs de développement durable ? Dans quel but et comment ? Quels projets décentralisés fonctionnent ? Dans quels domaines et selon quelle gouvernance ?

Est-il possible de concilier certaines blockchains et la dépense énergétique nécessaire à leur fonctionnement avec les Objectifs de développement durable ? Pourquoi de nombreux experts de l'Organisation des Nations Unies sont persuadés que les blockchains vont jouer un rôle important dans le développement durable et contribueront à la préservation de l'environnement ? Comment se fait-il que des Organisations internationales et des Organisations non gouvernementales expérimentent la mise en œuvre de projets blockchain depuis 2013, dans des domaines aussi variés que les chaînes d'approvisionnement, le paiement et le transfert d'argent en crypto-actifs, la traçabilité du bétail, l'identité numérique ou encore l'enregistrement des terres ?

La diversité des cas d'usage de projets « blockchain for good » semble résulter d'une convergence naturelle entre les principes de transparence, de traçabilité,

de collaboration et de décentralisation qui sous-tendent ces registres distribués 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 vont-elles servir d'accélérateur à l'usage de cette classe de technologie ? Rien n'est moins sûr.

Après avoir rappelé les 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, nous nous sommes intéressés à la manière dont fonctionnent les « blockchains » et leur valeur ajoutée, en les distinguant selon leur caractère public ou privé (introduction). Quel est l'apport des blockchains publiques en termes de décentralisation et de gouvernance ? Que permettent les smart contracts*, les applications décentralisées (dApps*) et les organisations autonomes décentralisées (DAO*) ? Qu'en est-il de la dépense énergétique de Bitcoin ?

Aujourd'hui, les blockchains servent quatre grands types d'usage : (1) **échanger des actifs numériques en pair-à-pair**, (2) **basculer vers le paradigme de l'identité numérique décentralisée**, (3) **tenir un registre infalsifiable de données**, ou encore (4) **programmer des actifs numériques**, chacun de ces usages pouvant être combinés avec les autres.

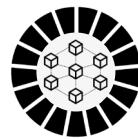
La deuxième édition de ce rapport « Blockchains & développement durable » aura été l'occasion collecter des informations à propos de quelque 700 projets blockchain – chacun se rattachant à la poursuite d'un ou plusieurs Objectifs de développement durable. Cet annuaire, créé par PositiveBlockchain.io en 2018 et auquel l'association Blockchain for Good contribue activement, est librement accessible au format *open data* (page 46).

Ces projets se répartissent, selon le nombre de projets identifiés, entre douze grands thèmes - (1) Identité & propriété, (2) Monnaies électroniques pair-à-pair & argent programmable, (3) Santé, (4) Chaîne d'approvisionnement & logistique, (5) Énergie, (6) Aides, charité & philanthropie, (7) Agriculture & alimentation, (8) Web 3.0, arts & sciences, (9) Environnement & climat, (10) Gouvernement & démocratie, (11) Communication électronique & télécommunications, et (12) Éducation & emploi.

Le premier constat qui en résulte, inchangé depuis la rédaction de notre premier rapport en 2020, 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, dorénavant plus politiques que techniques. Du fait de leur caractère profondément novateur, les blockchains dérangent.

Un premier thème nous est apparu comme transversal à tous les secteurs d'activité : celui de **l'identité numérique décentralisée** (chapitre 1). C'est un nouveau paradigme, encore en construction, qui porte la promesse d'une réappropriation par tout un chacun de ses données personnelles. Dans le modèle d'identité décentralisée, des émetteurs délivrent des attestations vérifiables* à des individus, - des titulaires, qui les présentent ensuite à des vérificateurs, brisant le modèle de l'identité centralisée où une personne dissémine ses données personnelles auprès de tous les tiers avec lesquels il interagit. Alors que la population mondiale compte 7,9 milliards d'individus, un milliard de personnes ne peuvent pas prouver leur identité, ce qui est déterminant, selon la Banque Mondiale, pour au moins dix des Objectifs de développement durable.

L'adoption à grande échelle de systèmes d'identité centralisé se heurte aujourd'hui aux nombreuses résistances de la part des grands acteurs du web et des acteurs privés dont le modèle repose sur l'identification de leurs utilisateurs, notamment à des fins publicitaires et commerciales. L'identité numérique décentralisée semble également être la clé de voûte de projets blockchain dans le domaine de la santé (chapitre 3), visant à protéger les données des patients, ou encore dans le domaine de l'éducation (chapitre 12), grâce à la certification de diplômes et de titres de formation.



C'est également la stratégie de l'Europe à travers l'European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) que de promouvoir ce nouveau paradigme de l'identité numérique décentralisée. Finalement, les pays les plus enclins à basculer dès aujourd'hui vers un système d'identité décentralisée semblent être ceux qui n'arrivent pas à fournir une identité à leurs citoyens. Gravity au Kenya, FlexID au Zimbabwe, Atala Prism en Éthiopie sont quelques-unes de ces initiatives qui mettent en œuvre, à grande ou petite échelle, ce nouveau paradigme de l'identité décentralisée. Quant à la mise en place d'un registre décentralisé de la propriété foncière, des projets plus ou moins avancés prennent forme au Ghana, au Bangladesh, en Inde mais aussi en Suède ou encore en Géorgie.

Alors que l'innovation fondamentale des blockchains, au premier rang desquels Bitcoin, est de pouvoir transférer de la valeur en pair-à-pair, sans plus passer par un intermédiaire, force est de constater, encore une fois, que **l'adoption des crypto-actifs par le grand public est bien plus avancé dans les pays marqués par une instabilité financière et ceux dont les institutions sont fragiles** (chapitre 2).

Que ce soit pour envoyer des fonds transfrontaliers ou encore se protéger de l'inflation, le transfert d'argent de pair-à-pair est de plus en plus utilisé dans certains pays parmi lesquels le Kenya, le Nigeria, le Vietnam ou encore le Venezuela. Des virements instantanés, quasiment sans frais et sans condition de nationalité rebattent les cartes des transferts d'argent.

Contrairement à une idée reçue, **associer blockchains et lutte contre le changement climatique n'est pas un oxymore**. Des initiatives blockchains dans le domaine de l'environnement et du climat (chapitre 4) donnent à voir de nouvelles organisations visant à décentraliser les marchés volontaires de carbone, des marchés de l'eau, le financement de collectes de déchets, les dons en crypto-actifs fléchés vers des projets environnementaux ou bien encore projets d'agroécologie et de reforestation.

En vertu de leurs propriétés intrinsèques, - être un réseau pair-à-pair et assurer la transparence d'un registre commun dans un environnement sécurisé, les blockchains trouvent, dans le domaine de l'énergie (chapitre 8), un vaste champ d'exploration, que ce soit dans les domaines du **commerce de l'énergie, des certificats d'énergie ou encore de l'optimisation du réseau**.

Quel est l'impact des blockchains, des smart contracts et même des Organisations autonomes décentralisées (DAO*) dans les services publics, les gouvernements et les démocraties (chapitre 9), dans le domaine de l'éducation et de l'emploi (chapitre 12) et celui de la santé (chapitre 3) ?

Comment, s'interroge Pierre Noro au chapitre 9, « *une technologie résolument anarchiste, libertarienne, dans un sens "anti-État" peut désormais être présentée comme une opportunité pour la rénovation de nos systèmes démocratiques et des*

administrations publiques, au niveau local, national et international ? ».

La promesse des blockchains dans le domaine de l'agriculture et l'alimentation (chapitre 6) et des chaînes d'approvisionnement (chapitre 5) laisse également entrevoir le potentiel des registres distribués à des fins de traçabilité, de partage d'information et de responsabilisation des acteurs sur des chaînes de valeur complexes.

Notre approche, par secteur d'activité, nous aura permis d'identifier les grands principes et l'articulation d'un écosystème de monnaies électroniques pair-à-pair et

de crypto-actifs reliant différents protocoles blockchain à la poursuite des Objectifs de développement durable.

Certes, les défis restent innombrables. Mais l'analyse de nombreux projets, dont certains ont d'ores et déjà dépassé le simple stade de la preuve de concept, valide 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 des formes inédites d'interactions sociales au bénéfice de tous.

TABLE DES MATIÈRES

SYNTHÈSE -----	6
INTRODUCTION -----	14
POURQUOI CE RAPPORT ? -----	21
MÉTHODOLOGIE -----	23
QU'EST-CE QUE LES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE ?-----	29
QU'EST-CE QU'UNE BLOCKCHAIN ?-----	32
DÉCENTRALISATION ET GOUVERNANCE-----	37
QU'EST-CE QU'UN SMART CONTRACT ?-----	39
QU'EST-CE QU'UNE APPLICATION DÉCENTRALISÉE -----	39
QU'EST-CE QU'UNE ORGANISATION AUTONOME DÉCENTRALISÉE -----	40
LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE DE BITCOIN-----	42
BLOCKCHAIN FOR GOOD : PANORAMA GLOBAL-----	46
1. IDENTITÉ & PROPRIÉTÉ -----	54
2. MONNAIES ÉLECTRONIQUES PAIR-À-PAIR & ARGENT PROGRAMMABLE-----	76
3. SANTÉ-----	116
4. ENVIRONNEMENT & CLIMAT -----	136



5.	CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT & LOGISTIQUE -----	160
6.	AGRICULTURE & ALIMENTATION -----	186
7.	WEB 3.0, ARTS & SCIENCES -----	214
8.	ÉNERGIE -----	240
9.	GOUVERNEMENT & DÉMOCRATIE -----	262
10.	AIDES, CHARITÉ & PHILANTHROPIE -----	300
11.	COMMUNICATION ÉLECTRONIQUE & TÉLÉCOMMUNICATIONS -----	326
12.	EDUCATION & EMPLOI-----	346
	 LISTE DES ENTREPRISES & PROJETS ÉTUDIÉS -----	364
	 GLOSSAIRE -----	372
	BIBLIOGRAPHIE -----	382
	CREDITS, LICENCES ET IMAGES -----	422



INTRODUCTION

Le développement durable à travers le prisme des blockchains

La blockchain, ça n'existe pas. Pourquoi ? Tout simplement parce qu'il y a plusieurs types de blockchains, parmi lesquels, pour schématiser, les blockchains publiques et les blockchains privées. Or, lorsque l'on parle de « la » blockchain, comment savoir de laquelle il s'agit, alors qu'elles sont intrinsèquement différentes ?

La première blockchain publique s'appelle Bitcoin et a été conceptualisée entre 2007 et 2008, puis mise en œuvre en janvier 2009 par une personne ou un groupe de personnes répondant au nom de Satoshi Nakamoto, disparu(e.s) depuis décembre 2010. **Une autre blockchain publique notable s'appelle Ethereum** et a été créée en juillet 2015. Depuis, près de 20 000 blockchains publiques, dont la plupart n'ont probablement aucune utilité, ont été créées et sont référencées sur le site d'information coinmarketcap.com.

Une blockchain publique, ou commune, est un grand livre numérique décentralisé et sécurisé auquel quiconque peut participer, pour écrire, effectuer des transactions, les lire, les vérifier ou encore les sécuriser, le tout sans intermédiaire central. Quant aux blockchains privées, il s'agit, pour l'entreprise ou le groupe d'acteurs qui en a le contrôle et la gouvernance, de plus ou moins optimiser

des processus, parfois déjà existants, souvent organisés en silos, et dont la principale problématique est d'en assurer le registre, afin de résoudre l'inefficience de la circulation des informations dans de telles organisations pyramidales.

Lorsque l'on parle de *la* blockchain alors que l'on se réfère à Bitcoin ou Ethereum et leurs dérivés, il s'agit de blockchains publiques ou communes, qui reposent sur la combinaison de plusieurs technologies dont certaines leur sont préexistantes : « les protocoles de réseau pair-à-pair », des « techniques de cryptographie » et, innovation fondamentale apportée par Bitcoin, le « mécanisme de consensus par la preuve de travail ».

La savante combinaison de ces trois technologies aboutit à un registre distribué, à une chaîne de blocs de transactions reliées entre elles depuis la première, et que l'on appelle « blockchain » dans le langage courant. Mais, comme l'explique Alexandre Stachtchenko, président de l'Association pour le Développement des Actifs Numériques (ADAN), « *l'innovation majeure de Bitcoin, c'est le consensus sans intermédiaire dans un réseau informatique permettant de gérer et de transférer de la valeur en ligne¹* ».

¹ « Manuel de survie dans la jungle des poncifs anti-Bitcoin », Alexandre Stachtchenko, 21millions.capital.fr, 5 janvier 2022.

Ce consensus sans intermédiaire, propre aux blockchains publiques, permet d'opérer un système de monnaie électronique pair-à-pair, ouvert à tous, sans autorisation préalable ni censure.

Quiconque est libre d'utiliser ou non le service opéré par une blockchain publique, qui sert, dans le cas de Bitcoin, à recevoir, détenir ou envoyer une monnaie électronique en pair-à-pair, des bitcoins, partout dans le monde. Ce qui fait dire à Yorick de Mombynes, conseiller référendaire à la Cour des comptes, que « *Bitcoin est un dispositif acéphale, décentralisé, ouvert. Nul n'a de pouvoir sur lui. Il n'a ni leader ni gestionnaire. Il appartient à tous et à personne. Ces caractéristiques forment un ensemble exceptionnellement novateur, aux antipodes des systèmes fondés sur la hiérarchie, (...), le monopole légal et le centralisme²* ».

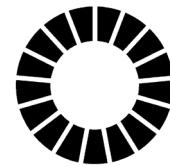
Alors que la diversité des usages n'a de limite que l'imagination de leurs concepteurs, les blockchains servent aujourd'hui quatre grands types d'usage : (1) échanger des actifs numériques en pair-à-pair, (2) bénéficier d'une identité numérique décentralisée, (3) tenir un registre infalsifiable de données, ou encore (4) programmer des actifs numériques, chacun pouvant être combinés avec les autres.

Échanger des actifs numériques en pair-à-pair, cela veut dire échanger de l'argent numérique de la main à la main, à l'instar de l'argent liquide. Alors que pour certains, Bitcoin et les crypto-actifs stables* n'ont pas d'utilité, d'autres y voient au contraire un formidable outil d'émancipation monétaire, notamment pour des dizaines de millions de personnes vivant sous des régimes autoritaires ou des économies instables.

C'est notamment le cas des vingt-et-un défenseurs des droits de l'homme, originaires d'une vingtaine de pays dans le monde, ayant récemment adressé une lettre au Congrès américain, et pour qui « *les utilisateurs du dollar et de l'euro n'ont probablement pas connu la dévaluation extrême de leur monnaie ou l'emprise froide d'une dictature. Pour la plupart des Occidentaux, les horreurs du colonialisme monétaire, la politique financière misogyne, les comptes bancaires gelés, les sociétés de transfert de fonds qui exploitent les migrants et l'incapacité à se connecter à l'économie mondiale sont peut-être des idées lointaines. Pour la plupart d'entre nous et nos communautés - et pour la majorité des gens dans le monde - ce sont des réalités quotidiennes. S'il existait des "solutions bien meilleures déjà utilisées" pour surmonter ces défis, nous le saurions³* ».

2 « Bitcoin : la monnaie ouverte et ses ennemis », Yorick de Mombynes, 18 janvier 2022, <https://www.latribune.fr/opinions/tribunes/bitcoin-la-monnaie-ouverte-et-ses-ennemis-902225.html>

3 « Letter in Support of Responsible Crypto Policy », Washington, DC 20510, June 1, 2022, <https://www.financialinclusion.tech>



Country	Index score	Overall index ranking	Ranking for individual weighted metrics feeding into Global Crypto Adoption Index		
			On-chain value received	On-chain retail value received	P2P exchange trade volume
Vietnam	1.00	1	4	2	3
India	0.37	2	2	3	72
Pakistan	0.36	3	11	12	8
Ukraine	0.29	4	6	5	40
Kenya	0.28	5	41	28	1
Nigeria	0.26	6	15	10	18
Venezuela	0.25	7	29	22	6
United States	0.22	8	3	4	109
Togo	0.19	9	47	42	2
Argentina	0.19	10	14	17	33
Colombia	0.19	11	27	23	12
Thailand	0.17	12	7	11	76
China	0.16	13	1	1	155
Brazil	0.16	14	5	7	113
Philippines	0.16	15	10	9	80
South Africa	0.14	16	18	16	62
Ghana	0.14	17	32	37	10
Russian Federation	0.14	18	8	6	122
Tanzania	0.13	19	60	45	4
Afghanistan	0.13	20	53	38	7

Le classement 2021 de l'indice mondial d'adoption des crypto-monnaies

Source : « The 2021 Geography of Cryptocurrency Report » Analysis of Geographic Trends in Cryptocurrency Adoption and Usage, Chainanalysis, Oct 2021, <https://go.chainalysis.com/rs/503-FAP-074/images/Geography-of-Cryptocurrency-2021.pdf>.

Envoyer et recevoir de l'argent sans intermédiaire, quasiment sans frais, et sans aucune contrainte géographique ; se protéger de la dévaluation de sa monnaie ; commercer avec l'étranger, sans restriction bancaire : Selon l'indice mondial d'adoption des crypto-actifs 2021, édité par Chainanalysis, il s'avère que le plus fort taux d'adoption des crypto-actifs concerne les personnes qui n'ont pas accès aux banques ou dont les banques imposent des restrictions,

comme au Nigéria par exemple, qui interdit à ses ressortissants de procéder à des virements vers l'étranger de plus de 500 \$. Ainsi, « *de nombreux marchés émergents sont confrontés à une importante dévaluation de leur monnaie, ce qui pousse les résidents à acheter des crypto-actifs sur des plateformes P2P afin de préserver leurs économies*⁴ » poursuit le rapport *The 2021 Geography of Cryptocurrency Report*⁵ publié par Chainanalysis.

4 « The 2021 Global Crypto Adoption Index: Worldwide Adoption Jumps Over 880% With P2P Platforms Driving Cryptocurrency Usage in Emerging Markets », Chainanalysis, October 14, 2021, <https://blog.chainalysis.com/reports/2021-global-crypto-adoption-index/>

5 « The 2021 Geography of Cryptocurrency Report », Analysis of Geographic Trends in Cryptocurrency Adoption and Usage, Chainanalysis, October 2021, <https://go.chainalysis.com/rs/503-FAP-074/images/Geography-of-Cryptocurrency-2021.pdf>

Recourir à un crypto-actif stable*, un crypto-actif à parité fixe avec une monnaie fiduciaire*, par exemple le dollar, permet ainsi à des personnes de convertir leur salaire ou leurs économies dans une monnaie plus stable, et de se prémunir ainsi contre la dévaluation de leur propre monnaie. Une réalité quotidienne pour les habitants de pays comme le Nigeria, la Turquie, le Liban ou encore l'Argentine, dont les monnaies s'effondrent.

Certains crypto-actifs stables*, comme celui proposé par **Agrotoken** en Argentine, sont même adossés à des actifs réels comme la tonne de soja, de sorte à protéger les agriculteurs contre l'inflation (voir Chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable »).

Bénéficier d'une identité numérique décentralisée, c'est garder la main sur ses données personnelles, s'identifier de manière décentralisée, dans un paradigme de l'identité respectueux de la vie privée. Et surtout de résoudre la contradiction selon laquelle certains pays, caractérisés par une défaillance des institutions n'arrivent pas fournir à leurs ressortissants un moyen de prouver leur identité et de l'autre, dans les pays développés, les individus bénéficient d'un anonymat très relatif, que ce soit pour

des raisons commerciales et financières, ou encore politiques et sécuritaires.

Alors que la population mondiale compte 7,9 milliards d'individus, un milliard de personnes⁶ ne peuvent pas prouver leur identité, ce qui est déterminant, pour au moins dix des Objectifs de développement durable selon la Banque Mondiale⁷. L'apport des blockchains dans le domaine de l'identité numérique est de passer d'un modèle centralisé où l'utilisateur crée un identifiant/mot de passe et dissémine ses informations personnelles auprès de chaque service avec lequel il interagit, à un modèle décentralisé, où il reste maître de ses données personnelles (voir Chapitre « Identité et propriété »).

Tenir un registre infalsifiable de données, c'est l'opportunité de repenser le caractère centralisé de n'importe quel registre officiel, que ce soit le cadastre à l'échelle d'un pays, un registre de propriété foncière, un registre de diplômes, mais aussi le registre d'une chaîne de traçabilité faisant intervenir une multitude d'acteurs et dont les interactions s'organisent selon un logiciel commun.

⁶ Selon le Forum économique mondial, les dernières données montrent qu'il y a un peu plus de 987 millions de personnes dans le monde qui n'ont pas d'identité légale, contre 1,5 milliard en 2016. La majorité d'entre elles vivent dans des pays à faible revenu où près de 45 % des femmes et 28 % des hommes n'ont pas d'identité légale. « A billion people have no legal identity - but a new app plans to change that », World Economic Forum, November 20, 2020, <https://www.weforum.org/agenda/2020/11/legal-identity-id-app-aid-tech/>

⁷ « ID4D. Country Diagnostic : Kenya », World Bank, 2016, retrieved May 9 2022, <https://documents1.worldbank.org/curated/en/575001469771718036/pdf/Kenya-ID4D-Diagnostic-WebV42018.pdf>.



Programmer des actifs numériques, cela veut dire mettre en œuvre des contrats informatiques, inarrêtables, incensurables et distribués sur tous les nœuds d'une blockchain publiques appelés « contrats automatiques » ou « *smart contracts** ». Ils permettent d'effectuer des transactions plus complexes, par exemple, si un produit est livré, alors le paiement est enclenché automatiquement. S'il neige pendant dix jours, un contrat d'assurance paramétrique envoie automatiquement une indemnité aux agriculteurs l'ayant souscrite. Une énergie renouvelable produite localement peut être tracée à l'aide d'un *token** et revendue en pair-à-pair *via* un *smart contract**.

Le *smart contract** permet d'exécuter des clauses préalablement établies de manière automatique : 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. Si un agriculteur a souscrit une assurance contre les tempêtes et que l'événement météorologique se produit, le paiement de son assurance est automatique, tout comme la manière de s'assurer, de manière décentralisée, que l'événement météorologique s'est effectivement passé. Lorsqu'une personne participe à un dispositif d'auto-consommation collective d'énergie, il revend le surplus d'électricité qu'il produit ou achète ce dont il a besoin, de manière automatique.

Parce qu'il n'y a pas d'organe central, on dit des blockchains publiques sans permission qu'elles permettent de distribuer la confiance à travers un réseau, ou encore, qu'elles sont une « technologie du consensus⁸ ». Elles permettent à ses utilisateurs d'opérer des transactions plus ou moins complexes et de se faire confiance sans se connaître. Ces technologies, parce chargées d'une idéologie politique, suscitent de nombreux fantasmes. « *Le New Edge, prolongation du New Age des années 1970, oppose à l'ancien monde, centralisé, coercitif et hiérarchisé, un nouveau monde, décentralisé, auto-organisé et horizontal, inscrit dans une dynamique évolutionniste (mais par des moyens techniques et non "occultes")⁹* » expliquait David Pucheu, chercheur à l'Université Bordeaux Montaigne, lors de la conférence « Blockchain, imaginaires religieux et théologie » organisée au Collège des Bernardins le 17 mars 2021.

Mais comme un moyen technique ne dépend que de l'usage qui en est fait, les blockchains peuvent servir au meilleur comme au pire : à l'émergence d'un système monétaire alternatif et universel, tout comme à la mise en œuvre d'un eYuan (le eCNY)¹⁰, incroyable instrument de surveillance monétaire développé par Pékin.

8 « Le Rapport de l'Office Parlementaire », Jacques Favier, La Voie du Bitcoin, 16 août 2018, <http://blog.lavoiedubitcoin.info/post/Office-Parlementaire>

9 « Blockchain, imaginaires religieux et théologie - 2020/2021 », Collège des Bernardins, 17 mars 2021, <https://www.collegedesbernardins.fr/recherche/blockchain-imaginaires-religieux-et-theologie-20202021>

10 « La Chine accélère le déploiement de son yuan numérique », Claude Fouquet, 5 janvier 2022, <https://www.lesechos.fr/finance-marches/marches-financiers/la-chine-accelere-le-deploiement-de-son-yuan-numerique-1376805>

INTRODUCTION



Source : « Leveraging Blockchain for Sustainability and Open Innovation : a Cyber-Resilient Approach toward EU Green Deal and UN Sustainable Development Goals », Paula Fraga-Lamas, Tiago M. Fernandez Carames, [intechopen](https://www.intechopen.com/chapters/72069), May 7 2020, <https://www.intechopen.com/chapters/72069>

En moins de quinze ans, d'innombrables projets *dits* blockchains ont ainsi été lancés, testés, expérimentés par des organisations de tout type et dans des domaines extrêmement variés.

Alors que la technologie ne cesse de s'améliorer, qu'elle attire de plus en plus de développeurs informatiques et d'utilisateurs et parce que les premières innovations deviennent matures, le temps semble venu, pour bon nombre d'observateurs, d'interroger son utilité sociétale et d'identifier les domaines dans lesquelles elles apportent une plus-value pour ceux qui s'en servent, la société et

les objectifs communs notamment portés par la communauté internationale.

Blockchain for good

Dès 2013, des projets « blockchains » estampillés « *for good* » sont lancés par des associations à but non lucratif comme **BitGive**, ou élaborés au sein d'Organisations non gouvernementales et d'Organisations internationales dont les missions sont par nature alignées avec les Objectifs de développement durable.



En 2015, l'UNICEF conduit une première expérience sur la blockchain Bitcoin pour tester un « système d'identité immuable » et explique ainsi que « *si nous pouvions prendre la photo d'une personne, la relier à ses informations personnelles (date de naissance, nom, etc.), coder ces éléments et publier un lien cryptographiquement sécurisé vers les informations codées sur la blockchain, ce lien, parce qu'il se trouverait sur un réseau public et sans autorisation, durerait* « pour toujours et constituerait une identité immuable ».

En 2016, l'UNICEF monte un fond de capital-risque pour accompagner de jeunes entreprises technologiques sur des marchés émergents¹¹.

En novembre 2018, ce fonds compte 72 investissements dans les domaines des *data science* et de l'intelligence artificielle, des blockchains et de l'Extended Reality, dont 33 dans des *startups* basées dans des pays où l'UNICEF est active¹². Une dizaine d'autres agences des Nations Unies ont initié, à partir de 2017, un certain nombre de projets blockchains menés individuellement ou collectivement, dans des domaines aussi variés que les chaînes d'approvisionnement,

le paiement et le transfert d'argent en monnaie numérique, le traçage du bétail, l'identité numérique ou encore l'enregistrement des terres.

Un rapport de la *Joint Inspection Unit* des Nations Unies qualifie ces initiatives, en 2020, « *d'opportunités sans précédent de collaboration inter-agences*¹³ » tout en mesurant l'étendue des travaux à mener pour mettre en œuvre une feuille de route transversale à ces dernières.

Pour Thomas Davin, Directeur du Bureau de l'innovation à l'UNICEF, « *nous n'avons vu aucune autre évolution technologique avec une croissance aussi forte au cours des dernières années – ou plus de potentiel pour résoudre tous les problèmes imaginables – que celle de Bitcoin, d'Ethereum et d'autres applications de la technologie blockchain*¹⁴ ».

Pourtant, « *peu de pays se montrent favorables à l'adoption des blockchains et des crypto-monnaies dans leurs systèmes*¹⁵ » explique Okonjo Iweala, directrice générale de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), probablement parce que cela rendrait

11 « UNICEF Is Investing In Tech Startups », Michael Astor, UNICEF, November 15, 2016, <https://www.unicef.org/innovation/stories/unicef-investing-tech-startups>

12 « Programme UNICEF Venture Fund », UNICEF, retrieved June 15, 2022, <https://www.unicef.org/innovation/venturefund>

13 « Blockchain applications in the United Nations system: towards a state of readiness », Petru Dumitriu, Report of the Joint Inspection Unit, July, 2020, https://www.uniju.org/sites/www.uniju.org/files/jiu_rep_2020_7_english.pdf

14 « UNICEF explains how Bitcoin donations help its cause », Shaurya Malwa, Cryptoslate, April 9, 2021, <https://cryptoslate.com/exclusive-unicef-explains-how-bitcoin-donations-help-its-cause/>

15 « Blockchain can be particularly beneficial to women, says WTO Director General », Luc Jose Adjinaou, CoinTribune, July 13, 2021, <https://www.cointribune.com/en/analysis/people/blockchain-can-be-particularly-beneficial-to-women-says-wto-director-general/>

transparent des processus que les bénéficiaires actuels préfèrent garder opaques. Et si des initiatives blockchains pourraient être utilisées pour « *réduire la pauvreté, renforcer l'autonomie des femmes et leur permettre d'accéder facilement aux marchés financiers* », ajoute Okonjo Iweala, le problème est, qu'à l'heure actuelle, « *nous sommes encore loin de concrétiser cette vision¹⁶* ».

L'OBJET DE CE RAPPORT

Notre interrogation de départ, proposée dans le rapport que nous avons publié en juin 2020¹⁷ reste pour le moins inchangée : « *En quoi des initiatives s'appuyant sur des blockchains, publiques ou privées, participent-elles à la réalisation des Objectifs de développement durable ? Quelles blockchains, quels objectifs de développement durable ? Dans quel but et comment ? Quels projets décentralisés fonctionnent ? Dans quels domaines et selon quelle gouvernance ?* ».

Les difficultés à répondre à ces questions tiennent tout autant à l'immaturité de nombreux projets blockchains qu'à 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 objectif¹⁸ ».

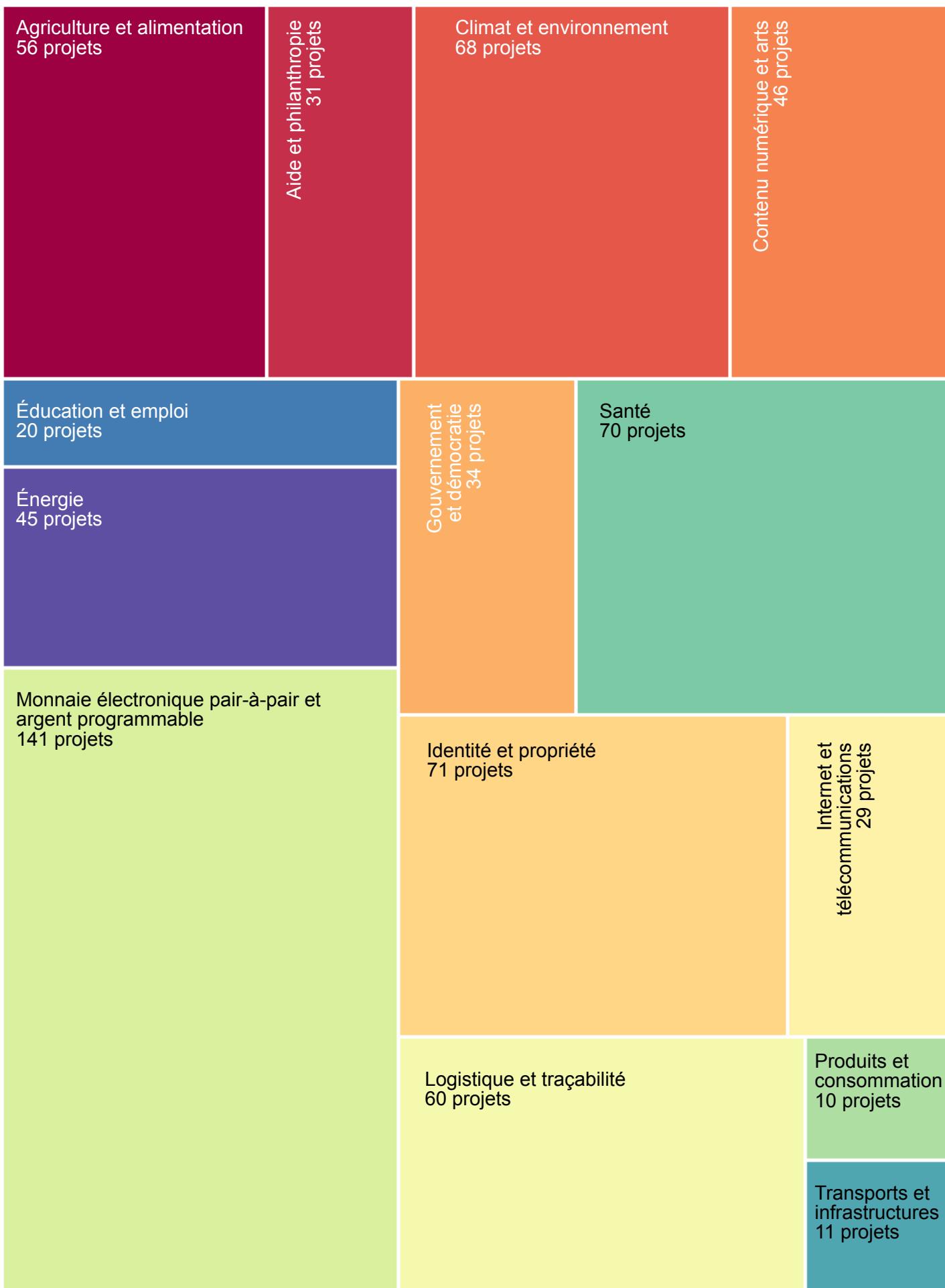
Comme il est impossible de généraliser un discours sur une classe de technologies aussi vaste que les blockchains, et surtout parce que les blockchains sont tout sauf une fin en soi, nous nous sommes attachés à identifier et analyser un certain nombre de projets et initiatives blockchains dont l'activité s'inscrit dans la poursuite d'un ou plusieurs Objectifs de développement durable.

16 « Blockchain can be particularly beneficial to women, says WTO Director General », Luc Jose Adjinaou, CoinTribune, July 13, 2021, <https://www.coindtribune.com/en/analysis/people/blockchain-can-be-particularly-beneficial-to-women-says-wto-director-general/>

17 « Blockchain et développement durable », Livre blanc, Blockchain X, Institut Louis Bachelier, Coreum, juin 2020.

18 « Les 17 Objectifs de Développement durable à l'horizon 2030 », Anne Chemin-Roberty, Institut Michel Serres, institutmichelserres.ens-lyon.fr, 18 septembre 2017.

Annuaire des projets *blockchain for good*



METHODOLOGIE

L'annuaire

Les associations françaises *Blockchain for Good* et *PositiveBlockchain.io* ont procédé, chacune de leur côté, à une première collecte de données en 2018. Il s'agissait de référencer les projets blockchains se rapportant à la poursuite d'un ou plusieurs Objectifs de développement durable. Depuis 2020, les deux associations collaborent à la mise à jour et la maintenance de « *l'open-database of blockchain for good projects* » accessible sur PositiveBlockchain.io.

Une importante mise à jour a été effectuée de février à juin 2022 par des membres de l'écosystème **Blockchain for Good**, ainsi que par Lucas Zaehringer, Ronald Steyer, Flavio Santalucia et Susanne Köhler et toute l'équipe de **PositiveBlockchain**, Carlotta Cochis, Pr. Dr. Paula Ungureanu et une équipe de recherche et d'assistants de l'**Université de Modène**, Taira Ishikura et Serena Tan de l'**Ethereum Foundation**, Junie Maffock de **Blockchain for Africa**, Chinedu Onyeaso et Benjamin Onuoha de l'**Africa Blockchain Alliance**, Peter Johnson de **Ayadee Foundation**, Daniel Kimotho de **Clabs**, Roxana Dumitrescu, **Master student**, et des contributions extérieures de l'**Africa Blockchain Alliance & consortium partners**.

Ce travail de collecte d'information, effectué tout au long de l'année par un important réseau de contributeurs, permet, plusieurs fois par an, de mettre à jour les données de l'annuaire.

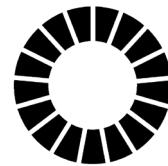
De plus, une fois par an, tous les projets actifs de l'annuaire sont revus un à un afin d'identifier les projets qui ont cessé leur activité et ceux qui perdurent. Cet annuaire n'est pas exhaustif mais aspire à être suffisamment complet pour donner un aperçu des tendances à l'œuvre dans le domaine des blockchains et du développement durable.

Selon quels secteurs d'activité ?

Les projets et initiatives blockchains identifiés par le réseau de contributeurs sont classés dans l'annuaire par secteur d'activité, que nous avons préalablement réparti en quatorze catégories clés et 59 sous-catégories, et dont les intitulés et hiérarchies ont été discutés en ligne en [mars 2021](#) et [mai 2021](#) sur deux documents collaboratifs, ouverts à la discussion, avec PositiveBlockchain et Blockchain for Good.

Les projets sont référencés dans les 14 catégories suivantes :

- Agriculture et alimentation
- Aide et philanthropie
- Climat et environnement
- Éducation et emploi
- Énergie
- Gouvernement et démocratie
- Santé
- Identité et propriété
- Internet et télécommunications
- Logistique et traçabilité



- Monnaie pair-à-pair et argent programmable
- Produits et consommation
- Transport et infrastructure
- Web 3.0, arts et sciences

Notre parti-pris a été de rendre l'annuaire en ligne simple d'utilisation, afin qu'il puisse être compris, exploré et se faire facilement réapproprier par un large public.

La corrélation des secteurs d'activité avec les Objectifs de développement durable

Pour corrélérer les catégories et sous catégories de l'annuaire avec les Objectifs de développement durable (ODD), nous nous sommes appuyés sur le *Toniic SDG Impact Theme Framework*¹⁹. L'objectif du « Toniic SDG Impact Theme Framework » est « *de permettre aux investisseurs d'impact d'aligner leurs investissements sur les Objectifs de développement durable*²⁰ ».

Toniic a mis en correspondance des thèmes d'impact avec les Objectifs de développement durable, et les cibles des ODD avec une sélection de mesures d'impact du catalogue IRIS²¹. IRIS, pour *Impact Reporting and Investment Standards*, est une initiative chapeautée par le Global Impact Investing Network²²(GIIN).

C'est un catalogue recensant des indicateurs de performance à l'intention des acteurs de l'investissement d'impact.

L'Impact Theme Framework V1.1 de Toniic a été reproduit sur la double-page ci-après.

La rédaction du rapport

Nous avons converti chacune des catégories de l'annuaire en chapitres et avons dressé un panorama des services déployés, en parcourant les projets référencés dans l'annuaire, et en nous appuyant sur la littérature journalistique et scientifique indiquée en notes de bas de page et en bibliographie.

Par manque d'information, les catégories « Transports & infrastructures » et « Produits & consommation » ne font pas l'objet d'un chapitre spécifique et certains des projets identifiés ont été cités et analysés dans les autres chapitres.

Ce rapport articule ainsi douze chapitres, « Agriculture et alimentation ; Aide et philanthropie ; Climat et environnement ; Éducation et emploi ; Énergie ; Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable ; Gouvernement et démocratie ; Internet et télécommunications ; Logistique et traçabilité ; Web 3.0, arts et sciences ».

19 « Toniic SDG Impact Theme Framework », Toniic, September 18, 2019, <https://toniic.com/sdg-framework/>

20 Ibid.

21 IRIS: <https://iris.thegiin.org>

22 Global Impact Investing Network: <https://thegiin.org>

Chaque chapitre vise à dresser un état des lieux du secteur, comprendre les promesses des initiatives blockchains référencées dans l'annuaire, y compris la manière dont elles fonctionnent afin d'identifier des projets dits exemplaires, notamment selon leur modèle, leur caractère innovant et leur adoption.

Nous avons organisé les chapitres selon le nombre de projets référencés dans l'annuaire, sauf pour le premier chapitre, « Identité et propriété », qui nous paraît être un thème fondamental dont les enjeux contemporains dépassent et nourrissent tout à la fois les autres thématiques abordées dans ce rapport.

Chaque chapitre de ce rapport dispose de son [double numérique, sous la forme](#)

[d'un lien Google Docs](#) mentionné en tête de chapitre. Si vous souhaitez apporter un commentaire, faire un ajout, corriger un passage, vous êtes invités à le faire directement en ligne et participer ainsi à la réflexion et aux débats sur ces sujets et sur des points précis.

Dernière précision, d'ordre sémantique, nous avons choisi d'utiliser "crypto-actif" plutôt que "crypto-monnaie", "*smart-contract*" plutôt que "contrat automatique" et "*token*" plutôt que "jeton", pour des questions de compréhension et parce que ces termes sont largement répandus dans l'écosystème francophone des blockchains. Enfin, tous les mots marqués d'une astérisque (*) sont définis dans le glossaire en fin d'ouvrage.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

IMPACT THEME FRAMEWORK V1.1



U.N. PRIMARY SDG	TONIIC IMPACT THEME	U.N. ADDITIONAL SDGs
 1 NO POVERTY	End poverty in all its forms everywhere	Access to basic goods and services (p.4) Financial inclusion (p.4) [Affordable housing - See SDG 11] [Small holder farmers - see SDG 2]
 2 ZERO HUNGER	End hunger, improve nutrition, and promote sustainable agriculture	Food security (p.4) Food waste (p.4) Healthy food (p.4) Small holder farmers (p.5) Sustainable agriculture (p.5)
 3 GOOD HEALTH AND WELL-BEING	Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages	Access to healthcare (p.5) Ageing (p.5) Maternal and reproductive health (p.6) Mental health (p.6) Disease prevention and response (p.6) Fitness and wellbeing (p.6) Biotechnology (p.6)
 4 QUALITY EDUCATION	Ensure quality education for all	Access to education (p.7) Education systems (p.7) Upskilling (p.7)
 5 GENDER EQUALITY	Achieve gender equality and empower all women and girls	Products and services for women (p.8) Women inclusive corporate policies (p.8) Women leadership and capital (p.8)
 6 CLEAN WATER AND SANITATION	Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all	Clean drinking water (p.8) Sanitation (p.8) Water infrastructure (p.8) Water conservation (p.8)
 7 AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY	Ensure access to affordable, reliable, clean energy for all	Access to (clean) energy (p.9) Transition from fossil to clean energy (p.9) Energy efficiency (p.9)
 8 DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH	Promote decent work for all and sustainable economic growth	Developed world jobs (p.9) Developing world jobs (p.9) Fair trade and ethical supply (p.9)
 9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE	Build resilient infrastructure; promote sustainable industrialization and foster innovation	Digital infrastructure (p.10) Sustainable physical infrastructure (p.10) Technology and technology transfer (p.10) Small enterprise lending (p.10)

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

IMPACT THEME FRAMEWORK V1.1



U.N. PRIMARY SDG	TONIIC IMPACT THEME	U.N. ADDITIONAL SDGs
10 REDUCED INEQUALITIES	Reduce inequality within and among countries	Equality (p.10) Refugees (p.10) Social justice (p.10)
11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES	Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable	Affordable housing (p.11) Community empowerment (p.11) Green building (p.11) Homelessness (p.11) Smart cities and mobility (p.11)
12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION	Ensure sustainable consumption and production patterns	Circular economy (p.12) Environmental health (p.12) Resource efficiency (p.12)
13 CLIMATE ACTION	Take urgent action to combat climate change and its impacts	Climate adaptation strategies (p.13) CO2 harvesting and storage (p.13) Greenhouse gas reduction (p.13)
14 LIFE BELOW WATER	Protection and sustainable use of marine resources	Aquatic sustainability (p.14) Sustainable fisheries (p.14) Sustainable aquaculture (p.14)
15 LIFE ON LAND	Protection and sustainable use of land resources	Animal welfare (p.15) Sustainable managed landscapes (p.15) Biodiversity and conservation (p.15)
16 PEACE JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS	Promote peaceful and inclusive societies, provide access to justice, and provide strong institutions	Policies and governments (p.16) Culture and the arts (p.16) Media (p.16) Conflict resolution (p.16)
17 PARTNERSHIPS FOR THE GOALS	Work together for sustainable development	Financial system change (p.17) Blended capital (p.17) Building the impact ecosystem (p.17)

« Toniic SDG Impact Theme Framework », toniic, Sep 18 2019, <https://toniic.com/sdg-framework/>





Siège de l'Organisation des Nations Unies à New York, Etats-Unis

LES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

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

L'agenda des Nations Unies en matière de développement durable a débuté en 1998 avant d'être mis en œuvre pour la période 2000-2015 avec la mise en place des Objectifs du millénaire pour le développement (OMD). Les OMD se sont poursuivis, sur la période 2015-2030, par les Objectifs de développement durable (ODD), plus connus sous l'acronyme anglophone SDGs, *Sustainable Development Goals*, définis dans le cadre des discussions entre les 193 États membres de l'Organisation des Nations Unies (ONU) et la société civile.

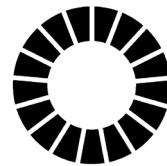
OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE



L'Agenda 2015-2030 des Nations Unies couvre 17 thématiques organisées en 17 Objectifs de développement durable, tous interconnectés et interdépendants, qui reposent sur les trois piliers d'un développement vertueux : 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, regroupés en trois types, composent un système de mesure des progrès, souvent macroéconomiques¹.

¹ « Tier Classification for Global SDG indicators », United Nations, March 29, 2021, <https://unstats.un.org/>



- Les 130 indicateurs de niveau I sont clairement définis et ont une méthodologie établie au niveau international à propos de laquelle des standards sont disponibles. Des données sont produites régulièrement par au moins 50 % des pays et de la population dans les régions pour lesquelles ils sont pertinents.
- Les 97 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.
- Les 20 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.

Par ailleurs, 4 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 financières².

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 leur stratégie³, 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

[sdgs/iaeg-sdgs/tier-classification/](#)

2 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 ».

3 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/>

général des Nations Unies pour la période 2018-2021⁴. 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 œuvre de mécanisme 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, l'immutabilité et la facilité d'accès des données auxquelles elles contribuent.

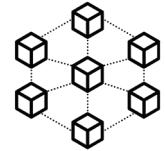
Face à cette stratégie, plusieurs voix s'élèvent déjà pour dénoncer une approche trop techno-centrique des solutions envisagées. Le risque étant de creuser les inégalités entre les populations équipées et formées aux usages numériques et les autres, et d'encourager une surconsommation de matériel informatique 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 système de mesure des progrès, commun à 193 pays, avec lequel constater l'ampleur et l'urgence des enjeux planétaires ainsi qu'une grille de lecture commune. Les Objectifs de développement durable peuvent également constituer le socle d'innovations sociales et technologiques dont les ambitions ne sauraient d'ailleurs se limiter aux indicateurs existants.

Si les Objectifs de développement durable sont un système de mesure des progrès et les blockchains, un système permettant d'échanger de la valeur sans intermédiaire, à quoi ressemble leur conjonction ? Avant d'en arriver là, commençons par définir ce qu'est une blockchain.

4 « Synopsis: The Secretary-General's Strategy for Financing the 2030 Agenda for Sustainable Development (2018 –2021) », <https://www.un.org/development/desa/financing/fr/node/837>



QU'EST-CE QU'UNE BLOCKCHAIN ?

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

Une blockchain publique, commune, accessible à tous est aux transferts de valeurs ce que le web est aux transferts d'informations. Dit autrement, les blockchains publiques ont le même impact sur le système monétaire international que celui qu'internet et le web ont eu sur l'information, les moyens de communications et les médias.

Comme Internet et le web ont mis fin au monopole des médias sur la parole publique, les blockchains mettent fin au monopole des États sur la monnaie, ou tout du moins, sur le transfert de valeur. Comme il était impossible en 1995 d'imaginer les bouleversements induits par l'avènement des technologies de l'information et de la communication sur la société, alors analogique, il serait présomptueux de vouloir décrire avec acuité les bouleversements induits par l'avènement des monnaies électroniques pair-à-pair au sein de nos sociétés qui, depuis l'avènement du réseau internet, se numérisent à grands pas.

Le réseau Internet a renouvelé nos manières d'échanger de l'information et de communiquer. Aujourd'hui, 4,2 milliards de personnes disposent d'une connexion au réseau et utilisent au quotidien plusieurs de ces services comme le courrier électronique, la messagerie instantanée ou encore le World Wide Web. Ces services reposent

sur des protocoles de communication qui transmettent et copient de l'information et des données via Internet, d'un point A à un point B, en empruntant des chemins sur le réseau où l'information est découpée en paquets de données pour que le message soit reconstitué lorsqu'il arrive à destination. Ainsi, lorsqu'une personne envoie un courrier électronique, le message est copié de la boîte mail de celui qui l'envoie vers la boîte mail du destinataire. Lorsqu'une personne accède à une page web, le contenu est copié du serveur où il est hébergé jusque sur le navigateur de celui qui y accède.

L'innovation majeure apportée par la blockchain Bitcoin, et les blockchains publiques en général, repose sur cette idée que dorénavant, une information unique peut être transmise via Internet. Cette information, parce qu'elle est unique, devient alors un actif numérique dont la particularité sera de pouvoir être échangé sans être dupliqué. 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. Le registre est public et toutes les transactions peuvent être vérifiées.

Lorsque Satoshi Nakamoto¹ publie en novembre 2008 l'article fondateur « Bitcoin : un système de paiement

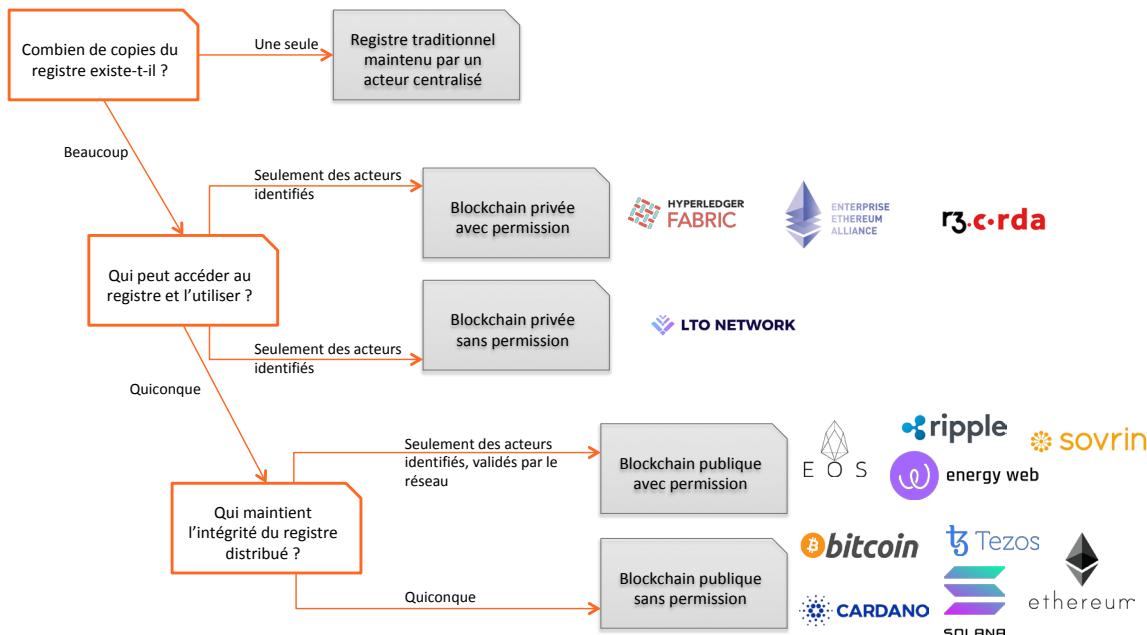
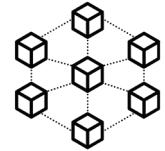
bitcoin et Bitcoin ?

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 rapport, en septembre 2022, quelque 19,1 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 nouveaux crypto-actifs comme le Bitcoin Cash ou le Bitcoin Gold.



électronique pair-à-pair », il apporte une réponse au problème dit de la double dépense qui anime depuis longtemps les mathématiciens et les informaticiens. Ce problème, jusque-là insoluble, a toujours empêché la création d'une monnaie numérique, qui, par principe, aurait pu être recopiée. **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 centralisé¹.**

Jusqu'à l'apparition du Bitcoin, la seule manière de s'échanger de l'argent sans passer par le réseau bancaire ou un quelconque intermédiaire financier était d'utiliser de l'argent liquide, en monnaie fiduciaire*. L'innovation fondamentale du protocole bitcoin puis d'Ethereum et de

certains autres crypto-actifs est d'être, au sens littéral du terme, de l'argent liquide électronique, et plus largement, un système d'échanges de valeur sans intermédiaire.

Pour tenter d'expliquer simplement les technologies dont il est question dans ce rapport, nous proposons une grille de lecture, sous la forme de trois questions, qui permettra au lecteur d'appréhender un projet blockchain pour ce qu'il est, et comprendre si l'initiative met en oeuvre une blockchain publique, commune, ouverte à tous ou alors une blockchain plus ou moins privée. Ces trois questions sont les suivantes : (1) Combien de copies du registre existe-t-il ? (2) Qui peut accéder et utiliser le registre ? (3) Qui maintient l'intégrité du registre distribué ? (Voir image supra).

1« Bitcoin, la monnaie acéphale », Jacques Favier, Adli Takkal Bataille, CNRS Edition, 24 mai 2017.

Selon la réponse à chacune de ces questions, il existe quatre grands types de blockchains :

1. Les **blockchains publiques sans permission**, comme Bitcoin, Ethereum ou Cardano : tout le monde peut lire et écrire des données, et les valider.
2. Les **blockchains publiques avec permission**, comme Eos, Ripple, Energy Web Foundation ou Sovrin : tout le monde peut lire et écrire des données, mais seuls certains nœuds du réseau valident les transactions.
3. Les **blockchains privées sans permission**, comme LTO : Tout le monde peut rejoindre le réseau pour créer un nœud et participer à la validation des transactions mais les personnes qui peuvent lire et écrire le contenu de la blockchain sont restreintes.
4. Les **blockchains privées avec permission** comme Morpheus Network ou Corda : la lecture, l'écriture et la validation des données reviennent à un seul opérateur ou un réseau d'opérateurs.

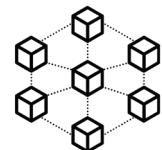
Les **blockchains publiques sans permission** sont aux monnaies régaliennes (le dollar, l'euro, le yuan etc.) ce que le World Wide Web a été aux médias dans les années 2000 : la perte d'un monopole séculaire.

Bitcoin est la première blockchain publique sans permission, créée en 2008 et mise en œuvre en 2009 dans le contexte géopolitique de la plus grande crise financière que le monde ait connu depuis 1929, marqué par une perte de confiance envers les banques, les institutions et les États, et dont les plans de sauvetage puis de relance et enfin d'austérité ont fait exploser les dettes publiques et aggraver encore davantage la progression du chômage comme l'accroissement des inégalités dans les pays les plus développés. La pandémie mondiale de Covid-19 a de nouveau accéléré le recours massif à la création monétaire et à la dette.

Bitcoin n'a pas été créé *ex nihilo*. Il est l'aboutissement de recherches et de tâtonnements aux filiations diverses, parmi lesquels les travaux de cryptographie proposés 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, dont s'est probablement inspiré le [ou les] dénommé(s) Satoshi Nakamoto.

Il est aujourd'hui courant de distinguer trois, voire quatre² générations de blockchains publiques sans permission.
(1) **Les blockchains de première génération**, qui se caractérisent par le type de mécanisme de consensus mis en œuvre (*voir infra*), en l'occurrence

²« The Four Blockchain Generations », Stephen Cummings, Medium, February 2, 2019, <https://medium.com/the-capital/the-four-blockchain-generations-5627ef666f3b>



le mécanisme de consensus par la preuve de travail (Proof of Work*).

(2) **Les blockchains de deuxième génération** qui mettent en œuvre des *smart contracts**, comme Ethereum, dont l'ambition est de « *créer un ordinateur mondial décentralisé, autonome et résistant à la censure³* ».

Créé en 2015 par une équipe de développeurs informatiques réunie autour de Vitalik Buterin, Ethereum est une blockchain public qui permet la création de « *smarts contracts** », qu'il convient de traduire en français par « *contrats automatiques** » ou, selon son inventeur, « *scripts persistants¹* ».

Ces *smart contracts** 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 du réseau Ethereum et que leur exécution est autonome, et ne passe pas par un tiers de confiance. Ethereum utilise Solidity, un langage de programmation dit Turing-complet, c'est-à-dire 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.

(3) **Et les blockchains de troisième génération** qui s'appuient sur un autre mécanisme de consensus que la

preuve de travail, moins énergivore, et qui permettent de déployer des *smart contracts**, résolvent des problèmes de montée en puissance (scalabilité) et intègrent nativement la possibilité d'effectuer des transactions entre différentes blockchains. C'est le cas de Cardano, Nano, IOTA ou encore Polkadot.

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 et troisième génération permettent de programmer des interactions financières plus complexes sans passer par un tiers de confiance.

De ces blockchains communes dont le code source est librement accessible ont été dérivées d'autres registres distribués et blockchains dont les règles d'écriture, de lecture et de validation des transactions sont réécrites, et dont le caractère ouvert, décentralisé et commun est partiellement ou totalement manquant. Les **blockchains publiques avec permission**, comme **Eos**, **Ripple**, **Energy Web Foundation** ou **Sovrin** sont des blockchains que tout le monde peut lire, sur lesquelles tout le monde peut écrire des données, mais seuls certains nœuds du réseau valident les transactions. Ces blockchains sont notamment utilisées par des institutions publiques telles que les agences gouvernementales ou encore des consortiums d'entreprises.

³ « A Gentle Introduction to Ethereum », Antony Lewis, Bits On Blocks, October 2, 2016, <https://bitsonblocks.net/2016/10/02/gentle-introduction-ethereum/>

Enfin, les **blockchains privées sans permission** comme LTO Network (blockchain d'entreprises) et les **blockchains privées permissionnées** comme **Morpheus Network** (logistique), **Patientory** (approvisionnement médical) ou encore **Corda** de R3 (banque) sont restreintes en écriture/lecture/validation des transactions aux acteurs qui les mettent en place.

Ce qui fait l'intérêt d'un registre distribué est qu'il distribue la confiance sur le réseau. À partir du moment où la confiance revient dans les mains d'un petit groupe de personnes ou d'organisations, ce type de registre distribué perd une de ses qualités fondamentales : se passer de tiers de confiance pour effectuer et valider des transactions de pair-à-pair.

Phil Chen, directeur général chargé de la décentralisation chez HTC Exodus estime ainsi que «*dans le monde des entreprises, les gens parlent de blockchains privées, qui techniquement ne sont pas des blockchains mais un meilleur système de gestion de base de données. Certes, il y a quelques gains de productivité ; alors que les blockchains publiques comme Bitcoin et Ethereum sont des innovations qui changent complètement la façon dont nous pensons et utilisons l'argent et le calcul*⁴ ». Il s'avère néanmoins que les blockchains privées permettent à des consortiums d'entreprises et des groupes

d'acteurs d'expérimenter de nouvelles formes d'organisation et de transfert de données qui s'avèrent parfois bien plus efficaces qu'auparavant, si ce n'est que la gouvernance revient à quelques-uns.

Décentralisation et gouvernance

Pour Vitalik Buterin, le fondateur de la blockchain publique Ethereum, « *les blockchains sont politiquement décentralisées (personne ne les contrôle) et architecturalement décentralisées (pas de point central de défaillance de l'infrastructure), mais elles sont logiquement centralisées (il y a un état communément accepté et le système se comporte comme un ordinateur unique)*⁵ ».

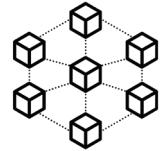
La centralisation architecturale revient à se poser la question de savoir de combien d'ordinateurs physiques est constitué le système.

La centralisation politique consiste, quant à elle, à se demander combien d'individus ou d'organisations ont l'ultime contrôle des ordinateurs qui composent le système.

Quant à la décentralisation logique, elle consiste à savoir si « *l'interface et les structures de données que le système présente et maintient ressemble plus*

4 « What is the Difference Between Blockchain and DLT ? », Braun Wiliam, Meidum, October 21, 2019, <https://medium.com/@wiliambraun427/what-is-the-difference-between-blockchain-and-dlt-c2124974f7ec>

5 « The meaning of Decentralization », Vitalik Buterin, Medium, February 6, 2017, <https://medium.com/@VitalikButerin/the-meaning-of-decentralization-a0c92b76a274>



à un unique objet monolithique ou à un essaim sans forme⁶ », autrement dit, que se passe-t-il si l'on coupe le système en deux ? Continue-t-il de fonctionner comme deux « tout » autonomes ?

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. Mais ce n'est pas parce que le tiers de confiance disparaît qu'il en va de même pour la question de la gouvernance.

Bien au contraire, prévient la chercheuse Primavera De Filippi, « *pour rester décentralisée, la blockchain [publique] a besoin d'une gouvernance⁷* ». Pour la chercheuse, « *la blockchain publique est une technologie décentralisée. Or, on ne peut pas s'attendre à ce que la réglementation pousse vers une décentralisation (...) Comment créer un système décentralisé mais avec une coordination demeurant décentralisée ? L'unique levier serait une réflexion sur la gouvernance. Comment créer un système décentralisé mais avec une coordination demeurant décentralisée ? Comment implémenter le consensus, par exemple à travers lequel tout le monde est d'accord pour invalider une transaction ? Sachant que l'on n'a pas trouvé la réponse pour Internet, il sera difficile d'en trouver une*

pour la blockchain. Chose sûre : le diable ne se trouve pas dans les intermédiaires. La blockchain pourrait compter sur certains intermédiaires tant qu'ils ne deviennent pas monopolistiques. C'est ce biais-là dont nous devons nous prémunir, si l'on regarde ce qu'est devenu Internet dominé par des géants⁸ ».

Pour être accessible au plus grand nombre, nous nous sommes attachés, tout au long de la rédaction de ce rapport, à documenter de la manière la plus précise possible le fonctionnement technique des projets et initiatives blockchains identifiés.

Beaucoup de ces projets mettent en œuvre des *smart contracts**, des applications décentralisées (dApps*) ou se constituent sous la forme d'Organisations autonomes décentralisées (DAO*) que nous allons maintenant définir. Plutôt que de trop insister sur des explications techniques quant au fonctionnement des blockchains, nous avons préféré créer un glossaire qui permettra au lecteur peu familiarisé avec ces technologies, de découvrir des cas d'usage et ainsi comprendre les mécanismes à l'œuvre de manière concrète et opérationnelle.

⁶ Ibid.

⁷ « Pour rester décentralisée, la blockchain a besoin d'une gouvernance prévient la chercheuse Primavera De Filippi », Émilie Laystary, France 24, 1^{er} Juillet 2018, <https://www.france24.com/fr/20180701-rester-decentralisee-blockchain-a-besoin-dune-gouvernance-previent-chercheuse-primavera-filippi>

⁸ Ibid.

Qu'est-ce qu'un *smart contract* ?

Un *smart contract*, c'est un distributeur automatique de boisson. La métaphore employée par le site Ethereum.org est parlante : « *Un contrat intelligent est comme un ensemble de règles qui vit sur chaîne* (on chain*), à la vue de tous, et fonctionne exactement selon ces règles. *Imaginez un distributeur de boissons : si vous lui fournissez suffisamment de fonds et entrez une sélection, vous recevrez la boisson que vous voulez. Et comme les distributeurs, les contrats intelligents peuvent détenir des fonds tout comme votre compte Ethereum. Cela permet de programmer des ententes et des transactions⁹* ».

Ainsi, un *smart contract* est « *une application qui s'exécute exactement telle que programmée, sans possibilité de l'arrêter, non censurable, sans fraude possible et sans interférence de tierce partie¹⁰* ». Ainsi, l'intérêt de ces contrats est qu'ils sont autonomes, automatiques et 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 et en assurer l'exécution.

Plusieurs blockchains publiques, de deuxième et de troisième génération permettent de programmer

des *smart contracts**, dont notamment Achain, BitShares, Eos, Ethereum, Neo, Nem, NXT, Omni, Ontology, Qtum, Stellar ou encore Waves.

Qu'est-ce qu'une application décentralisée (dApps - Decentralized Application) ?

Pour Andreas Antonopoulos¹¹, une application décentralisée inclut « *un ou plusieurs smart contracts déployé(s) sur une ou plusieurs blockchains, une interface utilisateur transparente, un modèle distribué de stockage de données, un protocole de communication de messages de pair à pair et un système décentralisé de résolution de noms¹²* ». Une fois déployé sur une blockchain publique comme Ethereum, le code informatique d'une application décentralisée (dApp*) ne peut ni être supprimé ni arrêté afin que quiconque puisse en utiliser les fonctionnalités. Cela veut dire que même si la personne ou le groupe de personne à l'origine de l'application disparaît, l'application décentralisée, quant à elle, continuera de fonctionner.

Selon une étude menée par la plateforme Binance, « *66 % des utilisateurs de dApps* utilisent des applications de finance décentralisée, dont la majorité des utilisateurs sont en Asie¹³* ».

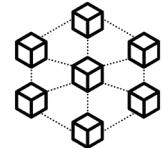
9 « Introduction to smart contracts », Ethereum, July 25, 2022, <https://ethereum.org/fr/smart-contracts/>

10 *Ibid.*

11 « Mastering Bitcoin - Second Edition », Andreas M. Antonopoulos, Creative Commons, March 3, 2018, <https://github.com/bitcoinbook/bitcoinbook>

12 *Ibid.*

13 « 2021 Global Crypto User Index », 2020, https://research.binance.com/static/pdf/Global_Crypto_



Qu'est-ce qu'une Organisation autonome décentralisée (*Decentralized Autonomous Organization – DAO**) ?

Une DAO* est un moyen technique pour que des gens s'organisent autour d'un objet commun sans direction centralisée. On les appelle souvent des « *forums Internet avec un compte bancaire partagé*¹⁴ ».

Elles n'ont pas de personnalité morale au sens juridique du terme. Ce sont des « quasi-sociétés » qui fonctionnent sur des blockchains publiques ou via des applications décentralisées et des *smart contracts**. Une DAO* est une organisation de personnes fonctionnant grâce à un programme informatique qui fournit des règles de gouvernance à la communauté sans direction centralisée.

Ces règles sont transparentes et immuables parce que codées dans un protocole blockchain. La première DAO* date de 2016 et a réuni 150 millions de dollars sur la blockchain publique Ethereum.

Elle s'est faite pirater un tiers de la trésorerie avant même de dépenser le moindre centime, et cette épopée s'est terminée en un *fork**, une scission de la blockchain Ethereum avec Ethereum Classic, c'est à dire que la blockchain a été réécrite pour annuler le piratage, revenant ainsi sur le principe même de son immuabilité¹⁵.

Entre 2016 et 2018, seule une dizaine de DAO* furent créées¹⁶. En 2020, leur nombre passe à 200 et, en juin 2022, il en existe un peu moins de 5 000. Selon le site d'information stg.deepdao.io, ces 4 834 DAO* réunissent une trésorerie totale de 7,6 milliards de dollars dont la gouvernance est répartie entre 670 000 votants (voir Graphique 1).

Actuellement, la DAO* la plus importante est Uniswap, une plateforme d'échange décentralisée qui génère des marchés automatiques de paires d'actifs liquides. La DAO* réunit 334 000 membres en juin 2022 (voir Graphique 2).

[Index_2021.pdf](#)

14 « AssangeDAO Raised \$56M and Quickly Split Up. Was It Still a Success ? », Daniel Kuhn March, Yahoo, July 8, 2022, <https://finance.yahoo.com/news/assangedao-raised-56m-quickly-split-210057108.html>

15 « De l'inviolabilité d'une blockchain », Jacques-André Fines Schlumberger, *La revue européenne des médias et du numérique*, N°40 Automne 2016, <https://la-rem.eu/2017/02/de-linviolabilite-dune-blockchain/>

16 « DAOs Aren't A Fad — They're A Platform », Jeff Kauflin, Isabel Contreras, February 3, 2022, <https://www.forbes.com/sites/jeffkauflin/2022/02/03/daos-arent-a-fad-theyre-a-platform/?sh=726d867d19d0>

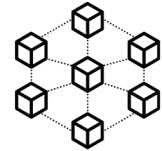
INTRODUCTION



Graphique 1. 4 834 DAO réunissent une trésorerie totale de 7,6 milliards de dollars dont la gouvernance est répartie entre 670 000 votants. Source : <https://stg.deepdao.io>

rank	organization	treasury	last 24hrs	top treasury tokens	main treasury chain	governance token holders	active members	proposals	votes
1	Uniswap	\$1.6B	-16.4%	UNI, T, T, T, T	Ethereum	334k	8.7k	83	37k
2	BitDAO	\$1.1B	-9.1%	T, DAI, T, DAI	Ethereum	18.8k	74	10	200
3	Gnosis	\$1B	-19.2%	GNO, GNO, GNO, T, T	Ethereum	19k	2.9k	44	17.8k
4	UXDProtocol	\$382.7M	-0.6%	UXD, UXD, UXD, T, T	Ethereum	6.8k	65	435	1.8k
5	Polkadot	\$323.4M	-20%	DOT	Kusama	978.8k	38	281	1.7k

Graphique 2. La DAO Uniswap réunit 334 000 membres en juin 2022. Source : <https://stg.deepdao.io>



La dépense énergétique de Bitcoin

Une blockchain publique est un réseau pair-à-pair. Or le propre d'une architecture informatique pair-à-pair est d'opérer des échanges entre plusieurs ordinateurs connectés au système sans passer par un serveur central. Tous les ordinateurs sont appelés des « nœuds » et jouent tout à la fois le rôle de client et de serveur, c'est-à-dire le rôle d'émetteur et de récepteur.

La question est donc de savoir comment les nœuds d'une blockchain publique sans permission se font-ils confiance et acceptent-ils les nouveaux blocs de transactions diffusés sur le réseau ? Comment repérer d'éventuels nœuds malveillants qui tentent d'inscrire de fausses transactions à leur profit dans le registre public ? Pour s'entendre sur un même registre public, ces blockchains s'appuient sur un mécanisme de consensus (également appelé protocole ou algorithme de consensus) qui permet de se mettre d'accord de manière distribuée.

Il existe plusieurs mécanismes de consensus parmi lesquels celui dit de la preuve de travail* (*proof of work*) et celui de la preuve d'enjeu* (*proof of stake*). Si le second ne consomme pas plus d'énergie qu'une installation informatique classique, le premier fait l'objet de vifs débats visant d'ailleurs « la » blockchain dans son ensemble sans vraiment distinguer les deux.

Sur la blockchain Bitcoin, les nouveaux blocs sont créés par certains nœuds du réseau appelés les mineurs. Ils mettent à la disposition du système leur puissance de calcul pour résoudre un problème mathématique complexe dont le principe est de trouver un nombre hashé qui respecte certaines contraintes (voir fonction de hash*). Comme il est impossible de prédire le résultat du hashage à l'avance, l'ensemble des ordinateurs qui minent calcule toutes les possibilités pour arriver au résultat.

Cette opération, appelée validation par le « mécanisme de consensus par preuve de travail » (*proof-of-work*), ne peut être obtenue que par la réalisation d'une tâche fortement consommatrice en puissance de calcul, et donc en énergie.

Le système est conçu de telle sorte qu'il faudrait qu'un attaquant contrôle plus de 50 % de la puissance de calcul de tous les ordinateurs qui minent dans le monde pour arriver à modifier un bloc à l'insu de tous. Et c'est pour cette raison que, depuis 2009, Bitcoin n'a jamais été piraté. De plus, la difficulté du minage est automatiquement ajustée en fonction du nombre d'ordinateurs en train de hasher, afin qu'un nouveau bloc soit généré en moyenne toutes les dix minutes. À chaque fois qu'un ordinateur trouve la bonne réponse, le bloc est créé et le mineur est rémunéré en bitcoins.

C'est de cette façon qu'est programmée la création d'unités de compte bitcoins. Le protocole a été conçu pour que les bitcoins soient créés graduellement sans qu'une instance centrale s'en charge. Il est également prévu dans le code informatique que plus la chaîne croît, plus il est difficile de miner des bitcoins, et plus la rémunération baisse.

C'est pourquoi si, aux débuts du Bitcoin, des particuliers minaient sur leur ordinateur, la puissance de calcul nécessaire est aujourd'hui telle qu'ils sont supplantés par des entreprises qui font travailler des milliers de serveurs dans des entrepôts.

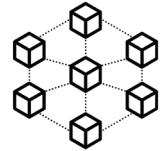
Le débat sur l'impact énergétique des blockchains oppose donc ceux qui considèrent que « Bitcoin consomme trop d'énergie » et ceux qui leur répondent que « Bitcoin est sécurisé parce qu'il consomme beaucoup d'énergie ». Ce quiproquo empêche de poser la question essentielle portant sur son utilité. **La consommation énergétique de Bitcoin vaut-elle le service rendu ?** Un système monétaire universel, incensurable, ouvert à tous vaut-il la dépense énergétique du mécanisme de consensus nécessaire à la sécurisation des transactions ? Or, comme nous venons de le voir, **c'est parce que Bitcoin consomme de l'énergie qu'il est sécurisé**.

Et, selon le Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI) « *des dépenses d'électricité plus élevées ont tendance à accroître la sécurité des réseaux, car les attaques deviennent plus coûteuses* ». La question pourrait même être de savoir pourquoi vouloir rendre Bitcoin moins énergivore si cette dépense énergétique vise à justement sécuriser les transactions opérées sur le réseau.

De plus, il est essentiel de faire la distinction entre la consommation d'électricité et l'empreinte environnementale du Bitcoin. Alors que la consommation d'électricité désigne la quantité totale d'électricité utilisée par le processus de minage de bitcoin, la seconde concerne les externalités environnementales du minage de bitcoins. « *Ce qui importe en définitive pour l'environnement n'est pas le niveau de consommation d'électricité en soi, mais l'intensité de carbone des sources d'énergie utilisées pour produire cette électricité¹⁷* » explique le Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI).

Or il s'avère que l'industrie du minage est probablement celle qui s'appuie le plus sur les énergies renouvelables. Non pas par conscience écologique, mais parce que l'industrie du minage est portable, mobile, cyclique et s'appuie sur un opportunisme économique uniquement lié au coût de l'électricité,

¹⁷ « Environmental Implications », Cambridge Centre for Alternative Finance, Website home page, retrieved June 15, 2022, <https://ccaf.io/cbeci/faq>



dont la moins onéreuse est aujourd’hui l’énergie renouvelable.

« Bitcoin permet même d’accélérer la transition vers des énergies renouvelables » explique Louis Bertucci, chercheur à l’Institut Louis Bachelier. « Le mécanisme de la preuve de travail génère une forte demande pour de l’électricité bon marché. Entre 2009 et 2018, la valeur du bitcoin a fortement augmenté, mais les revenus des mineurs, en valeur absolue, demeuraient encore faibles. Les mineurs n’avaient pas à faire l’effort d’utiliser l’énergie la moins chère possible et se servaient de l’énergie qu’ils avaient à disposition. En revanche, depuis quelques années, le prix d’un bitcoin augmente moins fort, et les mineurs gagnent environ quinze milliards de dollars par an¹⁸. Avec un marché du minage en plein essor, certains mineurs, comme Big Block Data Center¹⁹, ont une vraie incitation à financer des projets d’unité de production d’énergie renouvelable (hydraulique, solaire, géothermique, etc.), et bénéficier ainsi d’une énergie dont le coût marginal est a priori plus faible que celui des énergies fossiles²⁰ ».

GEM Mining²¹ ou encore Foundry²², deux entreprises américaines de minage, revendiquent utiliser respectivement 97 % et 71 % d’énergies renouvelables dans leurs activités, parce que c’est

l’électricité dont le coût est le plus faible. Toujours selon Louis Bertucci, Bitcoin permet de stabiliser certains réseaux électriques : *« les mineurs qui se branchent sur des grilles électriques existantes peuvent facilement « s’effacer » lors de pics de consommation. Si l’opérateur du réseau électrique détecte un pic de consommation et une surcharge, il envoie un message aux mineurs qui peuvent quasiment, à la seconde, arrêter leur machine. Dès le pic de consommation absorbé, les mineurs peuvent à nouveau reprendre leur activité. Le coût d’arrêt/reprise des machines est extrêmement faible. En effet, qu’ils minent le matin, le soir ou la nuit n’a que peu d’importance pour eux, tant qu’ils minent un certain nombre d’heures par jour. Et ceci peut bien sûr faire l’objet de contrats passés entre les mineurs et les producteurs d’énergie²³ ».*

Selon une étude de l’Université de Cambridge publiée en 2020, la dépense énergétique du minage de Bitcoin s’élèverait de 130 à 147 TWh, soit environ 0,6 % de l’électricité produite dans le monde.

18 « Bitcoin miners generated more than \$15 billion in revenue during 2021 », Michael McSweeney, December 23, 2021, <https://www.theblock.co/linked/128475/bitcoin-mining-2021-revenue>

19 Big Block Data Center : <https://bdatacenter.fr/en/home/>

20 Entretien avec Louis Bertucci, 30 juin 2022.

21 GEM Mining, Website home page : <https://gemmining.com/overview/>

22 Foundry Digital, Website home page <https://foundrydigital.com>

23 Entretien avec Louis Bertucci, 30 juin 2022.

INTRODUCTION

Une enquête du Bitcoin Mining Council²⁴ fait apparaître qu'au premier trimestre 2022, les mineurs de bitcoins utilisent 64,6 % d'énergie durable, définie comme éolienne, solaire, hydraulique ou nucléaire et estime que, « *en utilisant des hypothèses prudentes concernant le mix énergétique, l'exploitation minière de Bitcoin dans son ensemble utilise une énergie*

durable estimée à 58,4 %²⁵ ». Enfin, les détracteurs du Bitcoin ne s'intéressent qu'à la consommation énergétique du Bitcoin, et très peu au Layer 2²⁶ de type Lighting Network* (Voir Chapitre "Monnaies électroniques pair-à-pair et argent programmable") qui permet d'opérer des transactions et des micro transactions, à des frais modiques et sans dépense énergétique.

24 « We Welcome all Bitcoin miners to join », Bitcoin Mining Council, Website home page, retrieved June 15, 2022, <https://bitcoinminingcouncil.com/>

25 « Response to the Huffman Letter », Bitcoin Mining Council, May 2, 2022, https://bitcoinminingcouncil.com/wp-content/uploads/2022/05/Bitcoin_Letter_to_the_Environmental_Protection_Agency.pdf

26 Un Layer 2 est une couche technique au-dessus d'une blockchain existante, en l'occurrence Bitcoin, le Layer 1, et qui vise à résoudre les écueils de la blockchain principale dont notamment la lenteur des transactions ou encore les frais de transaction.

PANORAMA GÉNÉRAL

Ce rapport s'appuie sur l'annuaire *open data* de Positiveblockchain.io

Création de l'annuaire : 2018

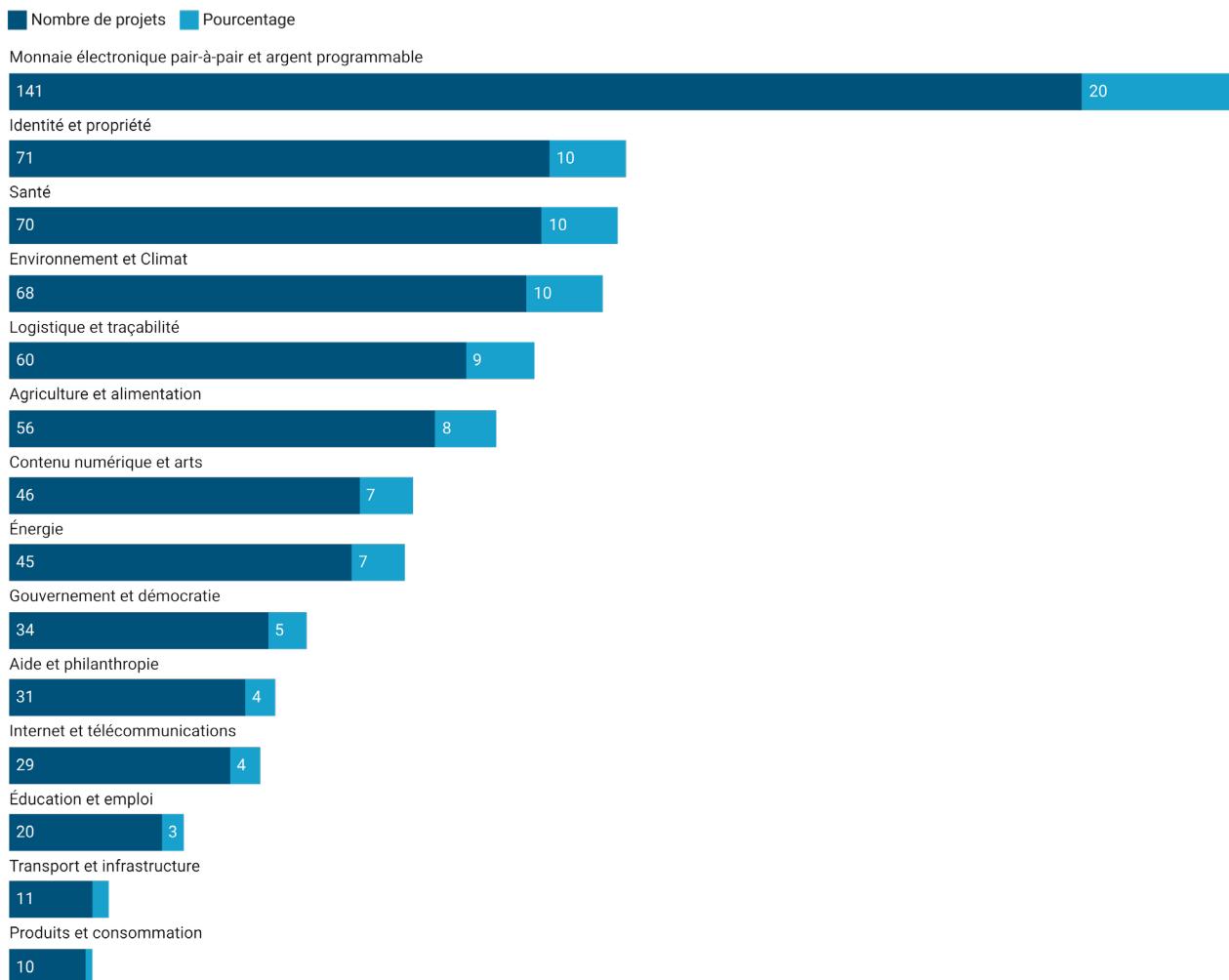
Nombre de projets dans l'annuaire en juillet 2022 : 1 273

Nombre de projets actifs : 692

Nombre de projets inactifs : 581



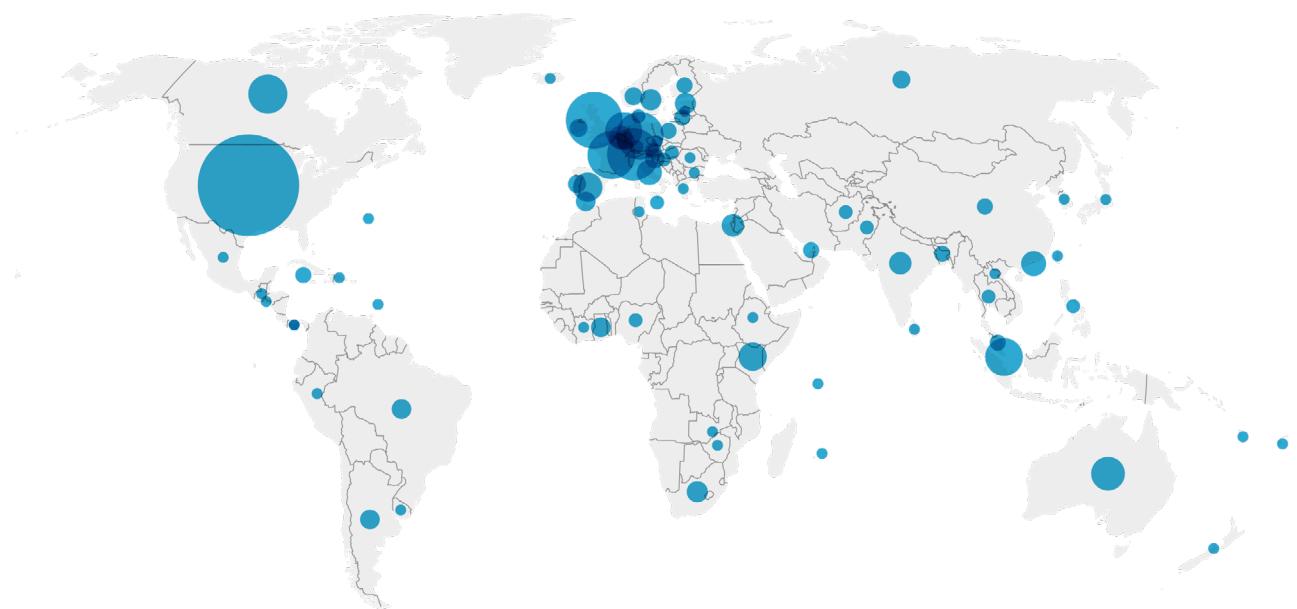
Nombre de projets actifs en juillet 2022



La répartition des projets entre les quatorze catégories de l'annuaire montre que, sans surprise, « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable » est celle qui recueille le plus de projets, quasiment deux fois plus que les deux catégories suivantes, « Identité et propriété » et « Santé ». En effet, Bitcoin, mis en œuvre en 2009, est d'abord un système de Monnaie électronique pair-à-pair, ouvert à tous, sans autorisation préalable ni censure. Les thèmes de l'identité numérique et de la tenue d'un registre de propriété recensent 71 initiatives blockchains actives, ce qui témoigne également de l'intérêt grandissant autour de l'identité décentralisée et du changement de paradigme qu'il implique, et dont nous parlons dans le chapitre « Identité et propriété ». Contrairement à une idée reçue, les blockchains n'entraînent pas automatiquement une forte dépense énergétique et 68 projets s'inscrivent directement dans la lutte contre le changement climatique et la préservation de l'environnement, la plupart de ces projets étant construits sur des blockchains à faible impact environnemental (Voir chapitre « environnement et climat »).

Répartition géographique des projets actifs

Par siège social

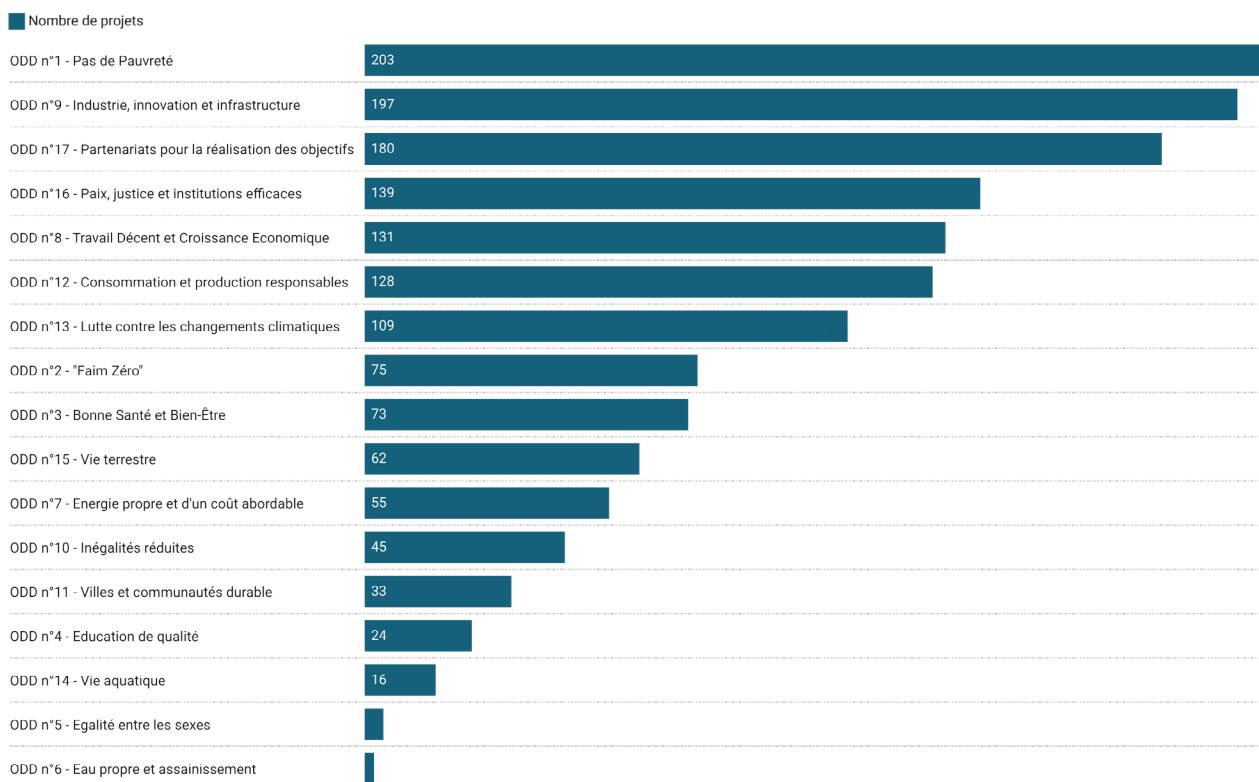


La répartition géographique du siège social des projets montre une nette domination des Etats-Unis. Les neuf pays suivants sont l'Australie, Singapour, le Canada, les Pays-Bas, la France, l'Allemagne, la Suisse et le Royaume-Uni.

Il convient toutefois de noter que cette carte ne montre pas les pays dans lesquels ces initiatives blockchains sont déployées. En effet, de nombreuses organisations ont leur siège social dans des pays de l'hémisphère nord alors que beaucoup développent des activités dans l'hémisphère sud. Il s'avère en effet que des initiatives blockchains ont émergé un peu partout dans le monde, et que le taux d'adoption des crypto-actifs par le grand public enregistre la plus forte progression en Afrique, en Amérique Latine et en Asie du Sud-Est, comme nous le décrivons dans le Chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable ». De plus, il convient également d'indiquer que cette carte n'indique pas les projets dont le siège social ne correspond à aucun pays, du fait de la nature décentralisée de l'initiative, comme certaines Organisations autonomes décentralisées (DAO*).

Répartition des ODD sur l'ensemble des projets actifs

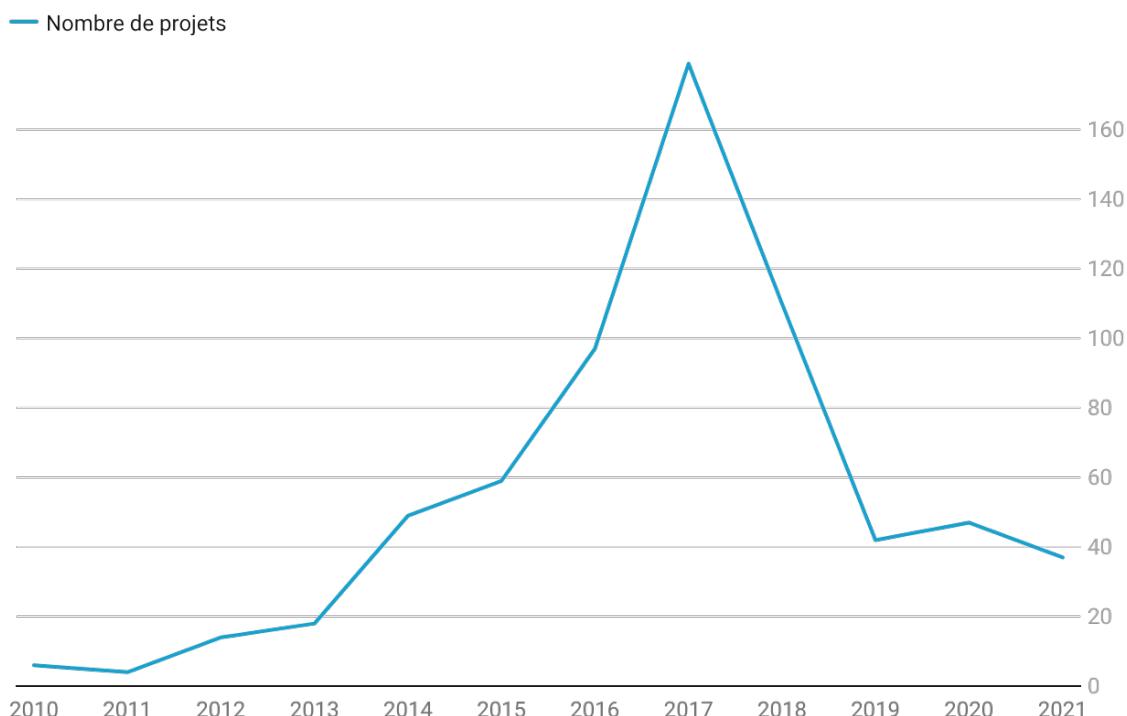
Nombre d'occurrences par Objectif de Développement durable sur l'ensemble des projets actifs



Les 692 projets actifs de l'annuaire montrent que l'Objectif de développement durable (ODD) qui rencontre le plus d'occurrences est l'ODD 1 « pas de pauvreté ». Si ce dernier arrive en premier, c'est qu'il recoupe beaucoup de projets référencés dans la catégorie « Monnaie Électronique en pair-à-pair et Argent Programmable », qui recense le plus de projets dans l'annuaire. En effet, plusieurs sous-catégories de « Monnaie Électronique en pair-à-pair et Argent Programmable » ont un lien direct avec l'Objectif de développement durable 1. Parmi celles-ci, on peut notamment citer « transactions et paiements en pair-à-pair », « inclusion financière », « financement participatif » ou encore « revenu de base ». Pour corrélérer les catégories et sous-catégories de l'annuaire avec les Objectifs de développement durable (ODD), nous nous sommes appuyés sur le Toniic SDG Impact Theme Framework (Voir Méthodologie). Il est important de préciser que le nombre d'occurrences de l'Objectif de développement durable 1 est aussi dû à la présence de projets n'ayant pas principalement pour but de lutter contre la pauvreté, mais qui de facto y contribuent. Ceci illustre la transversalité des Objectifs de développement durable.

Le deuxième Objectif de développement durable adressé par les projets actifs est l'ODD 9 : « *Mettre en place une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation* ». Comme son titre l'indique, cet ODD couvre un large spectre : des infrastructures durables et accessibles, une industrialisation socio-économiquement viable, l'accès de toutes les entreprises aux services financiers, la modernisation et la durabilité des filières industrielles, l'innovation, la recherche et le développement, l'appui aux pays en développement, la diversification et l'ajout de valeur et enfin, l'accès aux technologies de l'information et de la communication.

Evolution du nombre de projets par année

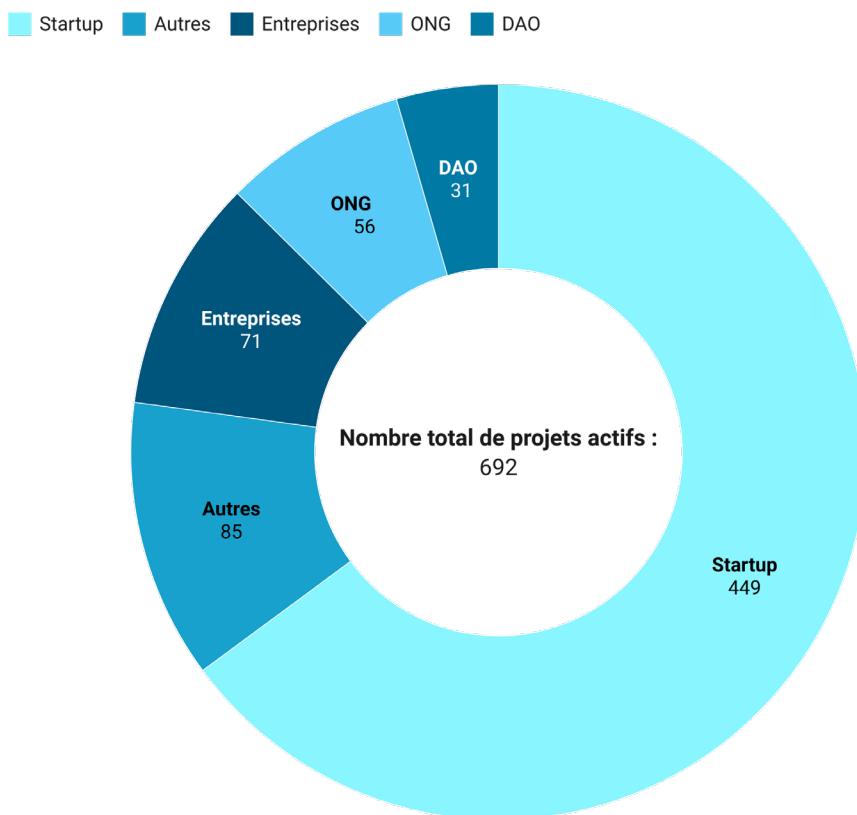


Le développement d'initiatives reposant sur des blockchains, qu'elles soient en relation ou non avec les Objectifs de Développement Durable, semble lié au lancement des blockchains de deuxième génération, dont Ethereum lance le coup d'envoi en 2015 et dont un pic est atteint début 2018, coïncidant avec la chute du cours du bitcoin dont la valorisation est passée de 16 000 € à 6 000 € en quelques mois. De plus, l'évolution du nombre de projets ressemble sensiblement aux cinq « cycles du hype¹ » du cabinet Gartner : « *Lancement de la technologie, Pics des attentes exagérées, Gouffre des désillusions, Pente de l'illumination, Plateau de productivité²* ». Ce « cycle du hype » traduit l'évolution de l'intérêt pour une nouvelle technologie et non son adoption.

1 « Blockchain Expectations and Realities From 2017 To 2021 And Beyond », Jorge Ordovás, August 30, 2021, <https://business.blogthinkbig.com/blockchain-expectations-and-realities-from-2017-to-2021-and-beyond/>

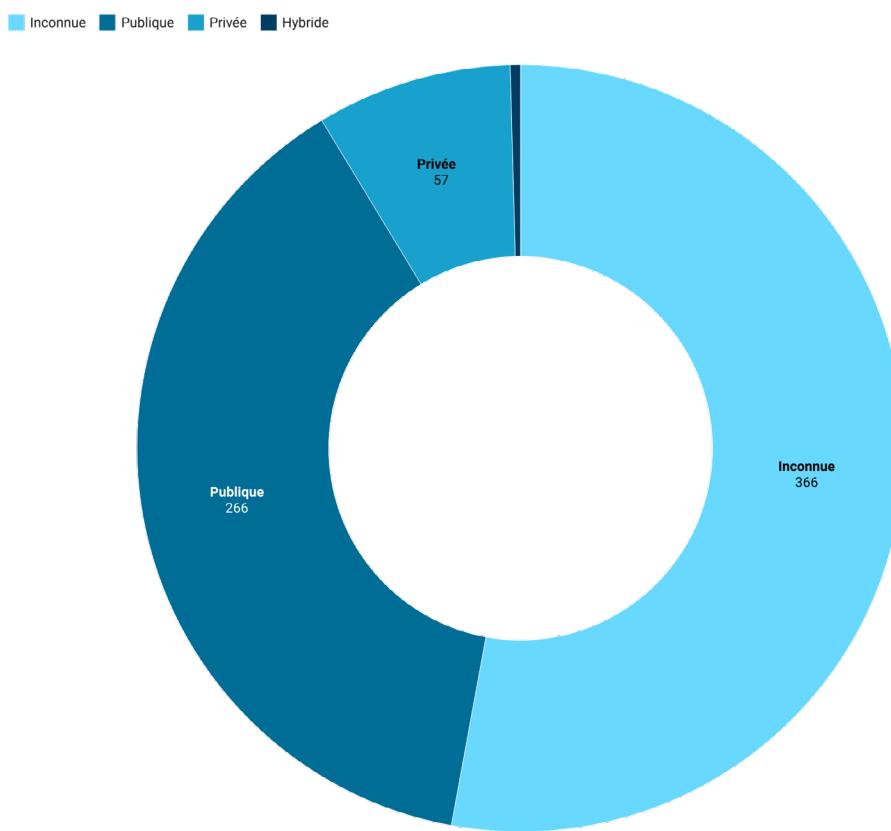
2 *Ibid.*

Répartition des projets par type d'organisation



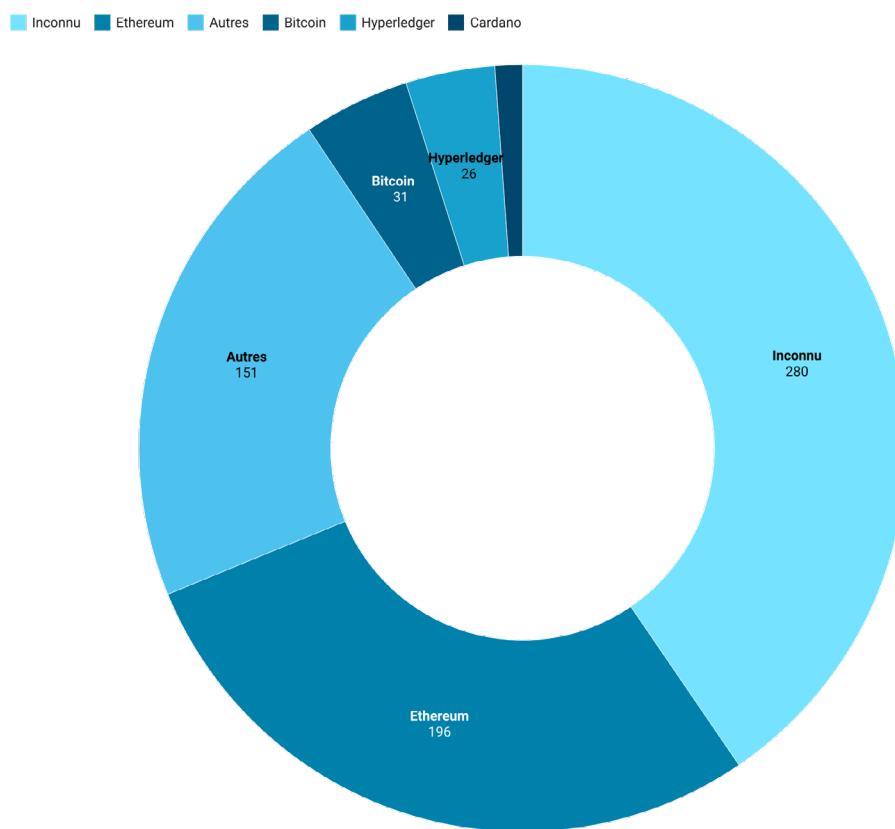
Sur les 692 projets actifs dans l'annuaire, 449 sont portés par des *startups*, soit 65%. Les DAO* ne comptent que pour 4 % des projets actifs, tandis que 10 % sont portés par des entreprises. Enfin, les ONG et les projets à but non-lucratifs représentent 8 % desdits projets. Les projets blockchains s'inscrivant dans la poursuite d'un ou plusieurs Objectifs de développement durable sont donc portés aux trois-quarts par le secteur privé.

Répartition des projets par type de blockchain



Sur les 692 projets référencés dans l'annuaire, 266 reposent sur des blockchains publiques et 57 revendent mettre en œuvre une blockchain privée. Il est intéressant de noter le nombre considérable de projets, 366, qui déclarent mettre en œuvre une blockchain sans toutefois spécifier laquelle ou quel type de blockchain est mise en œuvre. S'il est probable que ces projets utilisent une blockchain privée dont la gouvernance revient à des acteurs authentifiés et accrédités au préalable, il n'est pas possible de vérifier ces informations. Ceci témoigne de l'effervescence autour de certains projets blockchains qui n'en ont cependant que le nom. En faisant uniquement le ratio blockchains publiques/total des projets actifs, il s'avère que 38,5 % des projets dans l'annuaire sont déployés sur une blockchain publique.

Répartition des projets par blockchain (Layer 1)



Parmi les projets actifs dans l'annuaire dont la blockchain est publique, Ethereum est la blockchain la plus utilisée, suivie de Bitcoin, puis Cardano. La blockchain Ethereum, de par son antériorité par rapport aux autres, confirme son pouvoir d'attraction auprès des développeurs informatiques, et *a fortiori*, des développeurs travaillant sur des projets blockchains à impact social et environnemental. Selon un rapport publié en 2021 par Electric Capital¹, « *plus de 4 000 développeurs de logiciels libres actifs mensuellement travaillent sur le réseau Ethereum*² », suivi par les communautés Polkadot, Cosmos, Solana, et Bitcoin. De plus, Ethereum est la blockchain publique la plus polyvalente : il est possible de coder des *smart contracts** , de développer des applications décentralisées* ainsi que de construire des DAO*, tout en utilisant l'Ether, son crypto-actif natif, comme moyen de paiement.

1 « Electric Capital Developer Report (2021) », Maria Shen, Medium, January 5, 2022, <https://medium.com/electric-capital/electric-capital-developer-report-2021-f37874efea6d>

2 *Ibid.*



IDENTITÉ & PROPRIÉTÉ

IDENTITÉ ET PROPRIÉTÉ

Nombre de projets dans la base : 99

Nombre de projets actifs : 71

Nom des projets actifs : Accredible ; Agrello ; Aid:Tech ; Archipels ; BenBen ; Bitfury Bermuda ; Bitfury Project in Georgia ; Bitnation ; Blockchain Helix ; BlockID ; brightID Bron.tech ; Chromaway ; Civic ; Crayonic ; Datafund ; Deloitte's Smart Identity ; Digiland Digital Bazaar ; Digitary ; EduCTX ; Empowa ; Golandregistry (UN in Afghanistan) Gravity ; Hala Systems ; ID2020 Alliance ; Iden3 ; Irisguard ; JOLOCOM ; Keeex Kilt ; Kleros ; Land LayBy ; LegitDoc ; Logion ; Mattereum ; Medici Land ; Netservice Open Time Stamps ; OpenCerts ; OriginStamp ; Polkadot ; Rohingya Project ; Safe Haven ; SecureKey and IBM ; Serto ; SESO ; ShareToken ; ShoCard ; Sovrin ; Spherity Spring Labs ; SpruceID ; Talao ; Thailand digital identity ; TiiQu ; Transcrypts ; Tykn Ubitquity ; Uniris ; UTU ; Veramo ; VERFiD Pet ; Verif-y ; veritise ; Vidchain ; WIN Woleet ; Wordproof ; Youbase / Cortex ; Zwei Space ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à rapport@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

Qu'apportent les blockchains dans les domaines de l'identité numérique, la propriété foncière, la certification de documents officiels ? En quoi les blockchains renouvellent les relations entre les citoyens d'un pays et leurs administrations et services publics¹, les systèmes de gouvernance à l'échelle locale et globale, les systèmes de vote ?

Autant de sujets à propos desquels des projets blockchains remettent en cause des schémas traditionnels fondés sur une gouvernance centralisée et dont

un thème nous semble à la fois central et transversal : l'identité numérique.

Partout dans le monde, la question de l'identité, et notamment de l'identité numérique, sont au cœur des enjeux de nos sociétés contemporaines qui se numérisent à marche forcée. Selon les Nations Unies, « *un enregistrement des naissances a eu lieu pour 73 % des enfants de moins de 5 ans dans le monde, mais pour seulement 46 % des habitants de l'Afrique sub-saharienne²* ».

¹ Cette thématique fait l'objet d'un Chapitre dédié « Gouvernement & démocratie ».

² « Goal 16: Promote just, peaceful and inclusive societies », United Nations, SDG website, retrieved May 9 2022, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/peace-justice/>.



Alors que la population mondiale compte 7,9 milliards d'individus, un milliard de personnes³ ne peuvent pas prouver leur identité, ce qui est déterminant, selon la Banque Mondiale⁴, pour au moins dix des Objectifs de développement durable. Comme nous l'écrivions en 2020⁵, « *sans identité, pas de propriété d'un terrain, d'une maison ou d'un terrain agricole ; 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* ». La cible 9 de l'Objectif de développement durable 16 vise expressément à garantir à tous « *d'ici à 2030, une identité juridique, notamment grâce à l'enregistrement des naissances* ».

De plus, dans les pays développés, l'identité, dorénavant numérique, est devenue l'essence du « *capitalisme de surveillance* », notion popularisée⁶ en 2014 par l'économiste américaine Shoshana Zuboff, professeure émérite à la Harvard Business School.

Au capitalisme industriel du 20^e siècle, emmené par le constructeur automobile Ford, succède une autre forme de capitalisme, de données, optimisé par Google dans les années 2000.

Le capitalisme de surveillance fonde son modèle sur l'enregistrement systématique de toutes les données personnelles des individus et de leurs interactions, la plupart du temps à leur insu, analysées à l'aide de puissants logiciels (Big data et intelligence artificielle) afin de vendre, à des annonceurs en ligne, une prédition de comportement futur selon leur affiliation à un groupe démographique.

L'écueil est double. D'un côté, certains pays caractérisés par une défaillance des institutions n'arrivent pas fournir à leurs ressortissants un moyen de prouver leur identité et de l'autre, dans les pays développés, les individus bénéficient d'un anonymat très relatif, que ce soit pour des raisons commerciales et financières (capitalisme de surveillance), ou encore politiques et sécuritaires (lutte contre le terrorisme et blanchiment d'argent).

3 Selon le Forum économique mondial, les données les plus récentes montrent qu'il y a un peu plus de 987 millions de personnes dans le monde qui n'ont pas d'identité légale, contre 1,5 milliard en 2016. La majorité d'entre elles vivent dans des pays à faible revenu où près de 45 % des femmes et 28 % des hommes n'ont pas d'identité légale. Source : « A billion people have no legal identity - but a new app plans to change that », Nov 20, 2020, <https://www.weforum.org/agenda/2020/11/legal-identity-id-app-aid-tech/>

4 « ID4D. Country Diagnostic : Kenya », World Bank, 2016, retrieved May 9 2022, <https://documents1.worldbank.org/curated/en/575001469771718036/pdf/Kenya-ID4D-Diagnostic-WebV42018.pdf>

5 « Blockchain et développement durable », Livre Blanc, Institut Louis Bachelier, Blockchain X, Coreum, juin 2020.

6 « Capitalisme de surveillance », Françoise Laugée, *La revue européenne des médias et du numérique* N°50-51 Printemps - été 2019, <https://la-rem.eu/2019/07/capitalisme-de-surveillance/> et « Encore une autre approche du capitalisme de surveillance », Christophe Masutti, *La revue européenne des médias et du numérique*, N°59 Automne 2021, https://la-rem.eu/2022/01/capitalisme_de_surveillance/

Dans les pays en développement, l'identité est d'autant plus cruciale qu'elle est le premier vecteur de reconnaissance juridique à partir duquel une personne pourra revendiquer la propriété d'un terrain et accéder à une multitude de services, notamment publics (parmi lesquels l'accès à la justice, à la sécurité sociale, le droit à l'éducation, le droit de vote etc.) ou privés (services financiers).

Quel intérêt présente l'usage de blockchains publiques dans les domaines de l'identité numérique, sur un registre personnel ou professionnel ? A quelle problématique répondent les projets blockchain portant sur la propriété foncière, le cadastre ou encore la certification de documents ?

Identité décentralisée

L'identité numérique est « *la capacité à utiliser de façon sécurisée les attributs de son identité pour accéder à un ensemble de ressources*⁷ ». L'apport des blockchains dans le domaine de l'identité numérique est d'inverser le modèle actuel fondé sur l'authentification et le contrôle d'accès, géré tout deux par une organisation, vers un modèle fondé sur la vérifiabilité d'attestations contrôlées par une personne.

Il s'agit donc de passer d'un modèle centralisé où l'utilisateur crée un identifiant et un mot de passe et dissémine ses informations personnelles auprès de chaque service, à un modèle décentralisé, où l'utilisateur reste maître de ses données personnelles.

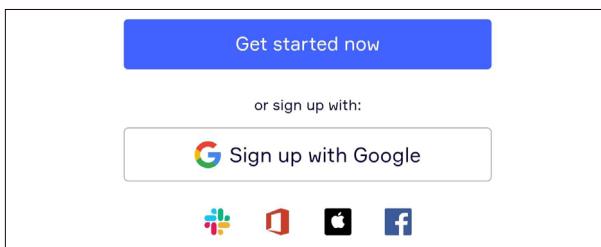
Cela résout également d'intenses problèmes de sécurité liés à la centralisation des données en un même point, objet de piratages informatiques récurrents.

Un modèle décentralisé permet à une personne de fournir une preuve de son identité ou de l'une de ses facettes, comme son âge, auprès du service auquel il souhaite accéder.

⁷ « Mission d'information commune sur l'identité numérique », Assemblée Nationale, Rapport N° 3190, Mme Christine HENNION et M. Jean-Michel MIS, Rapporteurs, 8 juillet 2020, https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/micnum/l15b3190_rapport-information



Ce changement de paradigme de l'identité numérique amorce un tournant pour les grandes entreprises du web qui ont fondé leur modèle économique sur l'exploitation massive et centralisée des données personnelles à l'insu de leurs utilisateurs. Et notamment en tant que fournisseur d'identité fédérée, un compte Facebook ou Google, servant de solutions d'identification pour des services tiers (voir image *infra*).



La promesse de l'identité décentralisée est de permettre à l'utilisateur de prouver quelque chose sans révéler aucune information personnelle. Pour Thibault Langlois-Berthelot, doctorant en droit à l'EHESS, « *un modèle d'identité décentralisée propose à l'utilisateur de reprendre le contrôle sur sa propre identité en créant un ou plusieurs identifiants uniques nommés des « identifiants décentralisés », auxquels il va associer ses attestations d'identité vérifiables aussi nommés « verifiable credentials⁸* ».

8 « Blockchain et souveraineté, les prémisses d'une révolution de l'identité numérique », Thibault Langlois Berthelot, 27 octobre 2021, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03314568>

9 « About us », Trust Over IP Foundation, Trust Over IP Foundation website, retrieved May 9 2022, <https://trustoverip.org/about/about/>

10 « Our Focus », Decentralized Identity Foundation, DIF website, retrieved May 9 2022, <https://identity.foundation/>

11 Les mots marqués d'un astérisque* font l'objet d'une entrée dans le glossaire, en fin de rapport.

12 « An Introduction to Verifiable Credentials », Verifiable Credentials.io, retrieved May 9 2022, <https://verifiablecredential.io/learn>

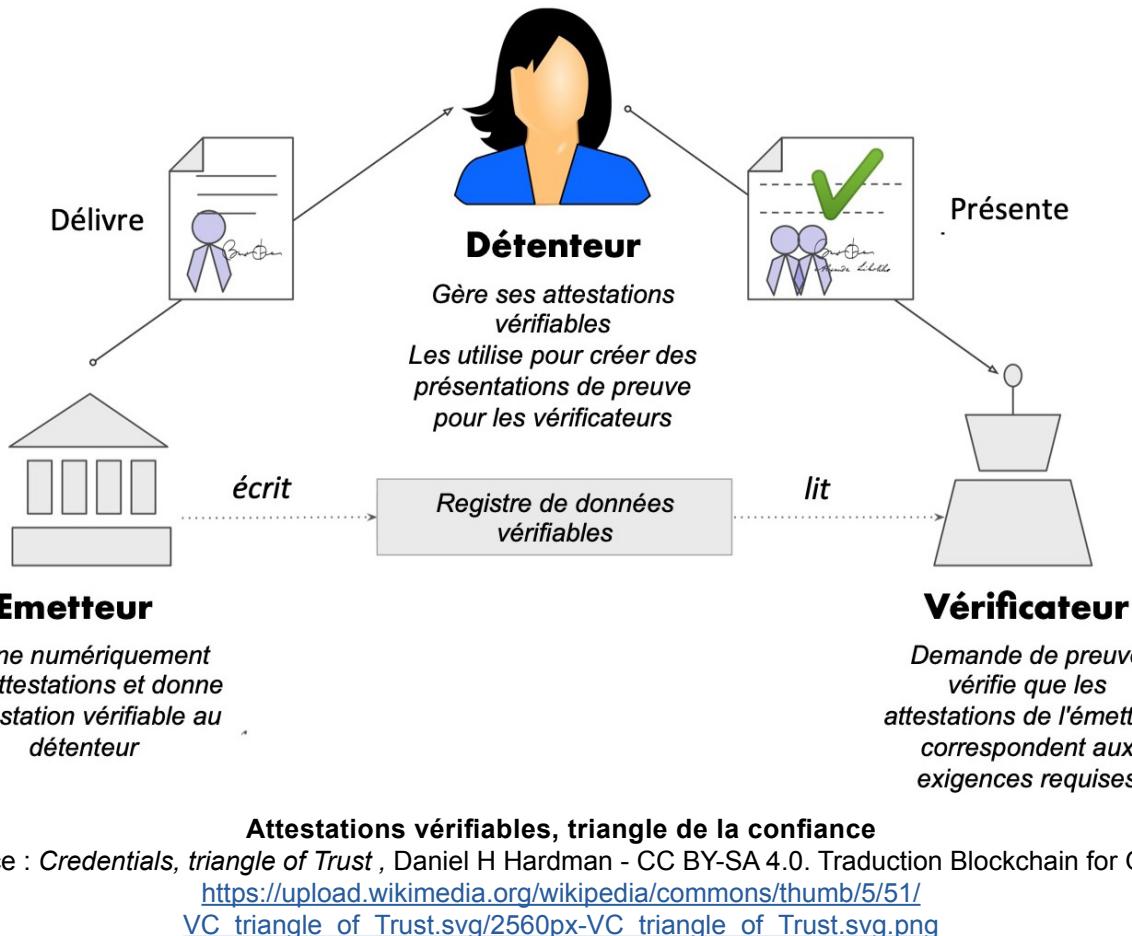
13 Op. Cit. « Blockchain et souveraineté, les prémisses d'une révolution de l'identité numérique », Thibault Langlois Berthelot, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03314568>

Ces identifiants décentralisés sont des standards informatiques qui normalisent de nouveaux mécanismes d'échange de données basés sur la cryptographie et des registres distribués. Ces standards, open source et publics sont en cours d'élaboration à l'échelle mondiale, notamment par le W3C, Trust Over IP⁹ affilié à la fondation Linux ou encore la Fondation Decentralized Identity¹⁰.

A partir d'un identifiant décentralisé stocké dans un portefeuille d'identité^{*11}, une personne prouve, par l'intermédiaire d'« attestations vérifiables » qu'il sélectionne ce qu'il sait (diplômes, autorisation d'exercer un métier, certification), ce qu'il a (compte bancaire, citoyenneté), ce qu'il possède (terrain, résidence, propriété, véhicule), qui il est (taille, poids, âge), ce qu'il fait (emploi, passé ou présent), où il a été (participation à un évènement), s'il a été ou non vacciné contre la Covid 19 etc.¹².

Ces attestations vérifiables sont « *des certificats numériques standardisés qui facilitent l'échange et le partage d'informations en ligne, de manière souveraine et sécurisée¹³* ».

Un système d'identité décentralisé fait



interagir trois entités : (1) Un émetteur (*issuer*) émet un identifiant décentralisé (DID) à un détenteur (*holder*), (2) sur la base de cet identifiant, le détenteur (*holder*) présente des attestations (ou justificatifs, *verifiable credentials*) le concernant à un vérificateur (*verifier*), par exemple pour accéder à un service, (3) le vérificateur ou service vérifie ces justificatifs

- Le détenteur (*holder*) est une entité, comme un étudiant, une personne, un employé, qui acquiert, conserve un ou plusieurs identifiants décentralisés, suivant ses besoins et les services auxquels il veut accéder.
- L'émetteur (*issuer*) est une

entité, comme une entreprise, une ONG, un gouvernement, une université, qui certifie certains champs de cette identité : nom, âge, sexe, pays de naissance, avoirs bancaires, etc. Ces champs ne sont pas nécessairement tous présents dans un même DID, et une personne peut avoir plusieurs DIDs. Par exemple, un DID civique peut encoder l'état civil d'une personne, alors qu'un DID bancaire pourrait encoder des informations relatives à un numéro de compte. Sur la base d'un DID, son détenteur peut produire un justificatif, (attestation vérifiable, ou *verifiable credential*)



qui est l'énoncé d'un fait portant sur un ou plusieurs champs du DID, qui restent secrets. Par exemple, sur la base du DID civique un justificatif de majorité peut être fourni sans révéler son âge. Sur la base du DID bancaire, la solvabilité peut être prouvée sans révéler son nom ni le montant de son compte en banque. Cela est possible grâce aux preuves à divulgation nulle de connaissance* (*Zero Knowledge Proof – ZKP*).¹⁴

- Enfin, le vérificateur (*verifier*) est une entité, comme un employeur, les forces de l'ordre, un service administratif, qui reçoit une attestation vérifiable et la vérifie suivant la technique de vérification de preuves à divulgation nulle de connaissance.

En pratique un DID peut être vu comme un lien qui pointe vers un document complet contenant les champs du DID cryptographiquement protégés. Ce document est stocké dans un registre (Verifiable Data Registry) qui peut admettre divers degrés de centralisation selon qu'il est placé dans une blockchain ou d'autres types de base de données. Ce registre de données vérifiables sert d'intermédiaire indirect entre l'émetteur d'une attestation vérifiable et le vérificateur.

Le détenteur (holder) contrôle ainsi les informations qu'il choisit de partager sous forme d'attestations vérifiables et peut attester de tout ou partie de ses attributs d'identité sans que l'émetteur n'en soit informé.

Plutôt que de renseigner son nom, créer un login, un mot de passe et livrer des informations personnelles auprès d'un service, quel qu'il soit, le détenteur d'un portefeuille d'identité* ou *identity wallet* dispose d'attestations vérifiables à partir desquelles le service auprès duquel il souhaite prouver quelque chose vérifie que ce qu'il revendique est vrai. Ce nouveau paradigme d'identité décentralisée s'appuie de manière cruciale sur un cadre technique permettant de mettre en œuvre le principe de « la preuve à divulgation nulle de connaissance » proposé par Charles Rackoff, Shafi Goldwasser et Silvio Micali en 1985¹⁵.

La preuve à divulgation nulle de connaissance permet de présenter des preuves de faits portant sur des données personnelles sans pour autant les révéler. « *Ces preuves ne révèlent aucune autre information que le fait que ces propriétés ou énoncés sont vrais* » explique Daniel Augot, Directeur de recherche à l'INRIA et enseignant à l'École polytechnique. Cette technologie est déployée nativement sur certaines

¹⁴ Dans un contexte très similaire, mais différent, cette technologie de preuves à divulgation nulle de connaissance est par exemple déployée dans l'application France identité, consulté le 9 juin 2022, <https://france-identite.gouv.fr>

¹⁵ « The knowledge complexity of interactive proof-systems », Shafi Goldwasser, Silvio Micali et Charles Rackoff, Symposium of the Theory of Computation (STOC), 1985.

blockchains publiques comme ZCash, ou Monero, mais peut également l'être au-dessus de blockchains existantes comme zk.money sur Ethereum. Elle offre une grande diversité d'usages, notamment dans le domaine de la finance, de la santé ou encore de l'identité décentralisée et dont le dénominateur commun sera la confidentialité des données.

Ce modèle d'identité décentralisé résout les problèmes de la centralisation des données personnelles des individus par chaque entité avec laquelle il interagit en offrant un paradigme où l'individu reprend le contrôle sur son identité en garantissant tout à la fois une confidentialité de ses données et une transparence avec les entités avec lesquelles il interagit. Par exemple, les organisations humanitaires collectent les données personnelles de bénéficiaires d'aides dans de gigantesques bases de données indépendantes et souvent redondantes comme SCOPE du Programme Alimentaire Mondial (PAM), qui contient 20 millions d'identifiants, le système d'identification et d'enregistrement personnel de l'Organisation internationale pour les migrations¹⁶ (OIM), qui contient également 20 millions d'identifiants,

ou encore la solution mobile Last Mile de World Vision, qui contient 8 millions d'identifiants¹⁷. Ce modèle d'identité décentralisée est en cours de déploiement et testé par certains pays.

En avril 2021, le gouvernement Ethiopien a signé un accord pour mettre en place une solution d'identité numérique décentralisée auprès des cinq millions d'étudiants répartis dans les 3 500 écoles du pays¹⁸. 750 000 enseignants auront également accès au système. L'objectif est tout à la fois de fournir une identité numérique décentralisée aux étudiants et de développer le système d'éducation du pays, démarche qui s'inscrit dans le cadre de la stratégie de transformation numérique du pays, Digital Ethiopia 2025¹⁹. Selon le ministre de l'Éducation nationale, le gouvernement a également conclu un accord avec un fabricant chinois de tablettes informatiques, qui seront distribuées aux étudiants²⁰. Ce programme, en cours de développement, utilise Atala Prism basée sur la blockchain publique Cardano, une « *solution d'identité décentralisée qui permet aux personnes de s'approprier leurs données personnelles et d'interagir avec les organisations de manière transparente, privée et sécurisée*²¹ ».

16 Organisation internationale pour les migrations, consulté le 9 juin 2022, <https://www.iom.int/fr>

17 « The Next Generation Humanitarian Distributed Platform, Danish Red Cross, Mercy Corps, November 12, 2020, <https://reliefweb.int/report/world/next-generation-humanitarian-distributed-platform>

18 « Ethiopia's blockchain deal is a watershed moment – for the technology, and for Africa », Iwa Salami, May 20, 2021, <https://theconversation.com/ethiopias-blockchain-deal-is-a-watershed-moment-for-the-technology-and-for-africa-160719>

19 « A digital roadmap for the developing world », Blavatnik School of Government, Blavatnik School of Government website, June 24, 2020, <https://www.bsg.ox.ac.uk/news/digital-roadmap-developing-world>

20 « Ethiopian Education Minister Confirms Cardano Blockchain Partnership », Anna Baydakova & Marc Hochstein, coindesk.com, April 30, 2021, <https://www.coindesk.com/business/2021/04/30/ethiopian-education-minister-confirms-cardano-blockchain-partnership/>

21 « Powering the Trust Economy », Atala Prism, website, retrieved May 9, 2022. <https://atalaprism.io/app>



FlexID Technologies est une *startup* basée à Harare au Zimbabwe, créée en 2018 par Victor Mapunga originaire du pays et Haardik, originaire d'Inde. Tous les deux se sont rencontrés à l'Université de Yale puis se sont suivis au King's College de Londres. Début 2018, Victor Mapunga a souhaité ouvrir un compte bancaire au Zimbabwe. « *J'ai été choqué de voir un long formulaire à remplir, qui exigeait des informations très irréalistes, surtout dans un pays comme le Zimbabwe qui a un taux de chômage de 90%, ce qui signifie que la plupart des gens vivent dans l'économie "informelle"*²² ». Parmi les pièces demandées, un bulletin de salaire ou une preuve de résidence, des documents que la majorité des Zimbabwéens sont incapables de fournir. C'est en partant de ce constat, notamment parce que l'impossibilité d'ouvrir un compte bancaire dépend en grande partie de l'absence de documents d'identité, que FlexFinTx fut créé quelques semaines plus tard.

FlexFinTx est une plateforme d'identité décentralisée auto-souveraine, construite sur la blockchain publique Algorand et assortie du portefeuille d'identité FlexID Wallet. Un utilisateur crée gratuitement un FlexID en utilisant un code USSD (un code généré à partir de son téléphone portable) ou via WhatsApp. L'identité numérique de l'utilisateur est stockée sur l'Interplanetary File System (IPFS)*, un système de stockage de fichiers

distribués (voir Chapitre Contenus numériques & Arts), inscrite dans la blockchain publique Algorand de sorte que seul l'utilisateur est détenteur de sa clef privée. A partir d'une application sur son téléphone, ou par l'intermédiaire d'un portefeuille d'identité physique, les utilisateurs pourront prouver leur identité et accéder ainsi à un éventail de services parmi lesquels « *créer un compte bancaire, demander un prêt ou même renouveler son permis de conduire sans avoir à se rendre dans une agence physique*²³ ».

La plateforme FlexFinTx est construite sur les normes établies par le World Wide Web Consortium (W3C) pour les identités décentralisées et les justificatifs d'attestations vérifiables, garantissant une interopérabilité avec d'autres fournisseurs de services. Selon Victor Mapunga « *la plateforme est extrêmement peu coûteuse à mettre en œuvre pour les entreprises et les gouvernements. En Afrique, les entreprises et les gouvernements devraient débourser des millions de dollars pour développer de tels systèmes, parfois par le biais de procédures d'appel d'offres entachées de corruption et construites par des entreprises étrangères qui n'ont aucune connaissance du marché africain*²⁴ ». La solution a été récompensée par le World Economic Forum Tech Pioneer en 2021, à l'occasion duquel le Zimbabwe était représenté pour la première fois.

22 « How FlexID is using Algorand to tackle a \$50B problem across Africa », Haardik, January 28, 2020, <https://medium.com/flexfintx/how-flexid-is-using-algorand-to-tackle-a-50b-problem-across-africa-daa5916b07b3>

23 Ibid.

24 Ibid.

Terrains et titres de propriété

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 pour non seulement accéder à des services financiers mais également témoigner de leur identité.

Dans les pays où il n'existe pas de registre de la propriété foncière, l'intérêt de mettre en œuvre une blockchain repose sur l'immuabilité 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 chargé de l'inscription et de la maintenance du registre permet d'apporter une réponse au problème de corruption de certains rouages de l'administration et notamment d'expropriations ou appropriations arbitraires.

La cible 4 de l'Objectif de développement durable 1 vise à ce 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 microfinance ». De plus, l'accès à la propriété et la sécurisation du foncier concernent directement l'Objectif de développement durable 5, visant l'égalité des sexes, afin que des réformes donnent aux femmes les mêmes droits que les hommes, notamment parce qu'elles représentent la part la plus importante de la main-d'œuvre agricole en Afrique ; et l'Objectif de développement durable 8, qui vise à « *promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous* ».

Le Ghana, le Bangladesh, l'Afghanistan, l'Inde mais aussi la Suède ou encore la Géorgie sont quelques-uns des pays s'intéressant de près aux technologies blockchains pour mettre en place un registre décentralisé de la propriété foncière. Comme nous l'avons détaillé en 2020 dans notre précédent rapport, la Géorgie, à travers l'Agence nationale du registre public, a sécurisé plus de 2 millions de titres fonciers dans la blockchain Bitcoin.

Fondée en 2015 par Emmanuel Buetey Noah, **BenBen** est une entreprise privée basée au Ghana dont l'objectif est de « *combler le fossé entre les détenteurs de droits fonciers et les acteurs du marché foncier* » en s'appuyant sur les technologies blockchains.



Lors d'un entretien accordé au Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA), Emmanuel Buetey Noah explique que « *bon nombre d'États africains ne disposent toujours pas d'un système offrant un accès sûr et fiable aux marchés fonciers. Ceci s'explique principalement par le manque de transparence et d'accès à des données fiables sur les marchés fonciers – une conséquence des registres publics de mauvaise qualité et surchargés, ainsi que de la concurrence entre plusieurs régimes fonciers.* En outre, seulement 20 % des transactions foncières seraient conclues de manière formelle. Par conséquent, 80 % des activités sur le marché foncier ne sont ni connues, ni documentées».

BenBen tâche d'agrégier les données concernant les transactions publiques à la fois formelles et informelles, afin d'adresser les défis liés à l'acquisition de terres au Ghana qui se heurte « *à des difficultés telles que les ventes multiples, les nombreux frais non officiels, les bureaucraties inutiles, l'intrusion d'intermédiaires non qualifiés et le manque de transparence, entre autres* ». Le travail d'agrégation de données mené par BenBen rassemble des données foncières qui peuvent être utilisées par différents acteurs du marché. Afin d'améliorer l'accès à ces données, la version actuelle de la solution de BenBen propose également des fonctionnalités visant à faciliter les demandes et l'enregistrement des transactions foncières pourvues de garanties par différents acteurs du marché foncier

ghanéen. L'architecture technique de BenBen repose sur l'utilisation d'un registre distribué, visant à garantir l'intégrité et l'immutabilité des données sur la propriété foncière pour à la fois simplifier les procédures administratives mais également offrir ce service à des coûts abordables.

Le prototype décrit par BenBen s'appuie sur la blockchain publique Bitcoin et sur l'Interplanetary File System (IPFS)*, en hachant les données liées aux transactions et en les ancrant dans la blockchain Bitcoin, ce qui permet « *garder une trace immuable et accessible publiquement de blocs qui renvoient à différents documents et transactions foncières réalisées via la plateforme.* De plus, les capacités de stockage de l'IPFS nous permettent de proposer un protocole sécurisé de partage des données, de stocker des données cadastrales immuables (relatives à la propriété des terres), et de prévenir la duplication des registres et documents sur les transactions foncières ».

En Afghanistan, l'Office of Information and Communications Technology (OICT) des Nations Unies, en partenariat avec l'ONU Habitat testent, depuis 2019, un registre foncier numérique s'appuyant sur un registre distribué : **goLandRegistry** pour « *government office Land Registry* ». Partant du constat que « *80 % des propriétés urbaines ne sont pas enregistrées auprès des autorités locales ou nationales* » et que les questions de

propriétés foncières sont « *à l'origine de conflits armés et d'abus des droits de l'homme* », les organisations développent un « *système conçu pour enregistrer tous les documents de propriété sur une blockchain, ainsi que pour délivrer des certificats d'occupation* », ce qui permettra aux propriétaires de démontrer de manière indépendante l'authenticité des certificats d'occupation à l'aide d'un outil de vérification open source et accessible à tous.

goLandRegistry s'appuie sur la blockchain hybride LTO Network, qui repose tout à la fois sur un réseau public et sur un réseau privé. Les organisations enregistrent des transactions entre elles, de manière privée, afin d'ordonner temporellement des événements dont notamment la signature de contrats. Certaines de ces informations sont ensuite ancrées sur une blockchain publique, ce qui permet de consigner ce qu'elles ont fait entre elles. Les deux organisations des Nations Unies ont ainsi développé un système informatique dont l'objet est d'enregistrer et vérifier les actes de cadastres et de suivre le financement foncier provenant de pays extérieurs.

Selon les Nations Unies, le programme goLandRegistry contribue aux Objectifs de développement durable 1, 5, 11, 13, 15, 16 et 17 et aurait eu vocation à s'étendre à d'autres pays. Mais depuis le retour au pouvoir des talibans en septembre 2021, nous ne savons pas ce qu'il adviendra de ce programme.

Basée à Amsterdam, LTO Network a développé une plateforme qui enregistre entre 80 et 100 000 transactions par jour et est aujourd'hui utilisée par le gouvernement hollandais, le gouvernement afghan, Heineken, les Nations Unies, Airbus, Bosch, Dekra ou encore IBM. LTO déploie un système de blockchain hybride, combinant l'utilisation d'une blockchain publique dont le mécanisme de consensus est basé sur la preuve d'enjeu et des blockchains privées, contrôlées par des organisations, qui opèrent leur propre mécanisme de consensus en s'appuyant sur une version hachée des transactions enregistrés sur la blockchain publique.

Au Bangladesh, **Digiland**, créé en 2018, s'attache à « *numériser le système de registre foncier en développant une plateforme de propriété transparente et immuable basée sur la technologie blockchain* ». L'enjeu est de taille puisque le Bangladesh est l'un des États au monde le plus densément peuplé, avec 165 millions d'habitants, sur une superficie aussi petite que l'État de New York, et 22 millions dans la seule ville de Dhaka. « *Depuis 2018, Digiland travaille avec le gouvernement bangladais pour mettre en place un registre de propriété sur le même modèle que celui développé en Géorgie, c'est en à dire en interfaçant le système avec l'administration et le gouvernement afin que les titres de propriété soient reconnus et donc opposables à tous* » explique Niklas Friese, l'un de ses fondateurs.



Parmi les difficultés rencontrées par Digiland figurent notamment le fait que peu de Bengladais disposent d'une pièce d'identité. De plus, les règles d'héritage et de transmission des terres dépendent en grande partie de la religion et certaines terres, notamment gérées par des coopératives agricoles, sont administrées par un chef de village plutôt que par les agriculteurs. Le registre de propriété consiste à enregistrer les titres de propriété tout à la fois dans la blockchain publique Ethereum et une sidechain* privée.

Certification et notarisation

Au-delà de l'identité numérique et du registre foncier, il est utile de pouvoir prouver l'authenticité et l'existence de documents à un moment précis comme un contrat, un diplôme, un contrat de bail, une photo, un acte juridique etc. Jusqu'à présent, ce processus a toujours nécessité l'intervention d'un officier public ou d'une autorité tierce certifiant l'existence et l'intégrité d'un document.

Lorsque le document est certifié par un officier public, il est un acte authentique, c'est-à-dire opposable à tous. Un acte authentique est « *celui qui a été reçu par des officiers publics ayant le droit d'instrumenter dans le lieu où l'acte a été rédigé, et avec les solennités requises²⁵* ». Ces officiers publics ont un rôle de tiers certificateur aux yeux de la loi et de tous comme, en France, les notaires, les

huissiers de justice, les commissaires-priseurs ou encore les greffiers des tribunaux de commerce.

Lorsque deux entreprises signent un contrat, par exemple un accord de confidentialité, elles peuvent prévoir de certifier le document afin d'anticiper de futurs litiges. S'il s'avère qu'une des parties transmet des informations à un tiers, elle pourrait prétendre l'avoir fait avant de signer l'accord. La date de signature, l'intégrité du document et la signature du contrat revêtent alors une importance cruciale. Pour certifier l'accord de confidentialité, les parties auraient pu s'appuyer sur un tiers de confiance dont l'objet est de fournir ce service d'horodatage certifié, appelé aussi une « Autorité de certification des temps » (de l'anglais *Timestamping Authority*, TSA). L'horodatage certifié (en anglais Trusted timestamping) est donc un système qui permet de conserver la preuve de l'existence d'un document et de son contenu à une date précise et qui implique qu'une fois le document daté et signé, il est impossible à quiconque, pas même son propriétaire, de le modifier.

Passer par un tiers de confiance a un coût ; être un tiers de confiance également. Par exemple, une université ou une école qui délivre des diplômes doit tenir un registre des diplômés, et être en mesure d'être contactée par des entreprises et des organisations qui souhaitent vérifier qu'une personne est effectivement

²⁵ Article 1369 du Code Civil, https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000032042446/#:~:text=L'acte%20authentique%20est%20celui,décret%20en%20Conseil%20d'Etat

Hacher un texte via l'algorithme SHA-256

Le SHA-256 est une norme de hachage qui permet de faire correspondre à une donnée binaire quelconque, une empreinte de 64 caractères hexadécimaux unique. 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 haché devient totalement différent.

Prenons l'exemple suivant. Si l'on hache le texte « Blockchain et développement durable », le résultat du hash sera le suivant :

faf60b6b9dc3561f167f9b88ab2c8229bb883da79afe4f11b22be7dda692618c. Si l'on modifie le texte à hacher en enlevant l'accent sur le mot développement « Blockchain et developpement durable », le résultat du hash sera le suivant :

0214a2148333104bf8ff3e8108bee1944b9a614727f4871ec6473b5d5f43fd38.

Il est donc impossible de retrouver le message d'origine à partir du hash. En revanche, si l'on hashe à nouveau « « Blockchain et développement durable », on retrouvera toujours le même nombre hashé :

faf60b6b9dc3561f167f9b88ab2c8229bb883da79afe4f11b22be7dda692618c, prouvant ainsi que le texte n'a pas été modifié.

Il est possible de hasher une phrase, un mot de passe, ou encore L'Iliade et l'Odyssée *in extenso* qui fait plus de 700 pages, cela donnera toujours une empreinte unique de 64 caractères hexadécimaux. L'intérêt d'une fonction de hachage est donc qu'elle ne s'applique que dans un sens : le nombre hashé obtenu ne permet pas de remonter au contenu d'origine, en revanche il suffit de hacher à nouveau ce contenu pour vérifier que le hachage en résultant est identique, preuve qu'aucune modification n'est intervenue.

diplômée de l'école ou l'université en question. Enregistrer l'empreinte d'un diplôme dans une blockchain publique permet de considérablement simplifier la procédure pour vérifier l'authenticité d'un diplôme. Nous abordons en détail cette problématique dans le chapitre « Education et emploi ».

Les blockchains publiques comme Bitcoin, Ethereum ou Tezos sont des registres universels, ouverts et accessibles à tous et dont les données sont immuables. Des services de certifications de documents se sont ainsi créés en s'appuyant sur ces blockchains publiques, parmi lesquels Woleet, KeeeX, OriginStamp ou encore OpenTimestamps. Woleet est une « *plateforme qui permet de garantir l'intégrité et la provenance des données en liant tout type de contenu numérique*



à des transactions Bitcoin immuables²⁶ ». Ce n'est pas le document en lui-même qui est enregistré dans une blockchain publique mais le document haché (voir encadré). Les documents ainsi certifiés peuvent être vérifiés sans tiers, partout dans le monde et à tout moment.

En France, la Caisse des dépôts et consignations, La Poste, Engie et EDF ont créé Archipels, qui propose, selon son CEO, Hervé Bonazzi, « une infrastructure souveraine qui permet de gérer et de vérifier l'identité numérique. C'est une plateforme de confiance numérique qui certifie sur la blockchain des documents, des données et des informations sur des individus ou des entreprises et qui rend vérifiable leur authenticité ».

Développé avec Vialink²⁷, un acteur français de l'automatisation du traitement des dossiers clients (*Know Your Customer*) pour la banque, l'assurance et l'immobilier, Archipels a lancé début 2021 un premier service de contrôle de l'authenticité des justificatifs de domicile, à propos desquels les tentatives de fraude sont en constante augmentation²⁸.

« Notre solution vise à créer une infrastructure de confiance globale mise à disposition de tout tiers désirant vérifier l'authenticité d'un document.

Notre blockchain est privée et permissionnée, ce qui signifie que les acteurs validant les transactions sont des tiers de confiance identifiés et autorisés à le faire. Nous avons une maîtrise totale de l'origine des documents certifiés²⁹ », explique Hervé Bonazzi. La blockchain étant privée et permissionnée, elle s'appuie sur un algorithme de consensus basé sur la Preuve d'autorité (Proof of Authority), où quelques acteurs ont la charge de valider les transactions et de mettre à jour le registre distribué entre eux³⁰. Les clients d'Archipels sont des banques, les greffiers des tribunaux de commerce ou encore des professions réglementées qui ont l'obligation de vérifier le justificatif de domicile.*

En novembre 2021, Archipels a consigné 40 millions de ces justificatifs, garantissant leur authenticité auprès de leurs clients. La certification documentaire proposée au Conseil national des greffiers des tribunaux de commerce permettra aux greffiers, en 2022, de vérifier, via une API*, l'existence du siège des entreprises immatriculées au Registre du commerce et des sociétés (RCS).

L'intérêt d'utiliser une blockchain privée et permissionnée serait de gagner en auditabilité entre quelques acteurs de confiance et d'optimiser les coûts liés

26 « Woleet : Fournisseur d'accès à la vérité numérique », Vincent Barat, Gilles Cadigan, Livre blanc, 30 Juin 2017, <https://www.woleet.io/wp-content/uploads/2019/06/Woleet-WP-0.3-FR.pdf>

27 « Qui sommes-nous ? », Vialink, consulté le 9 mai 2022, <https://www.vialink.fr/fr/qui-sommes-nous/lentreprise-vialink-qui-sommes-nous-2/>

28 « Onfido's Identity Fraud Report 2020 », Onfido, <https://onfido.com/landing/fraud-report-2020/>

29 « La blockchain pour certifier des documents personnels », Philippe Richard, 4 mars 2021, <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/la-blockchain-pour-certifier-des-documents-personnels-90033/>

30 « Notre Manifeste », Archipels, consulté le 9 mai 2022, <https://en.archipels.io/notre-manifeste>

à leur coordination. La Chambre des Notaires de Paris a développé un premier pilote de certification et d'horodatage de document en 2019, sur la plateforme *open source* Hyperledger Fabric. Depuis juillet 2020, la Chambre des Notaires de Paris développe un registre distribué, à côté du logiciel métier traditionnel déjà utilisé par la profession, Espace Notarial, dont l'objet est de dématérialiser les

dossiers, les échanges et les signatures avec leurs clients et entre notaires. La blockchain, privée et avec permission, servira, entre autres, à échanger des fichiers très volumineux, tracer et certifier des documents électroniques et tracer les actions des sociétés non cotées, application connexe développée par le Fonds d'Innovation de la Chambre des Notaires de Paris.



Gravity, créé en 2017, est une plateforme de cloud décentralisé à travers laquelle des personnes reçoivent, conservent et partagent des données vérifiables dans un portefeuille numérique sécurisé dont ils ont le plein contrôle. Construit sur la blockchain publique Tezos, Gravity développe trois types d'usages liés à l'identité décentralisée : Les solutions d'aide humanitaire, les solutions d'identité gouvernementale et les solutions de prêt.

Gravity participe notamment au projet DIGID, pour DIGnified IDentities, initié en 2021 avec l'aide de la Fédération internationale de la Croix-Rouge (IFRC), Innovation Norvège, la Croix-Rouge norvégienne, Save the Children Norvège, le Norwegian Refugee Council et le Norwegian Church Aid³¹. Le projet « s'efforce de redonner le contrôle et la propriété des données personnelles aux individus, et en même temps d'augmenter la collaboration entre les ONG et leurs bénéficiaires, avec le consentement de l'utilisateur comme clé ». La Croix-Rouge kényane (KRCS) rencontre des difficultés pour effectuer des transferts d'argent

à environ un quart des bénéficiaires visés par ses programmes d'aide. Ces personnes ne peuvent en effet pas justifier d'une pièce d'identité alors que le fournisseur d'argent mobile M-PESA, utilisé normalement par l'ONG kényane, en requiert une pour créer un compte.

En avril 2021, la Croix-Rouge locale et RedRose³² ont ainsi testé la solution de Gravity auprès de premiers bénéficiaires dans un environnement contrôlé, en milieu rural et en milieu urbain. N'importe qui peut bénéficier d'une identité décentralisée, y compris ceux qui n'ont ni smartphone, ni téléphone basique (feature phone*) ; l'ONG remplit un profil, une seule fois, sur la plateforme, puis remet à la personne un QR code imprimé puis laminé.

Les premiers retours d'expérience des ONG témoignent d'un gain de temps, que ce soit de la part des bénéficiaires ou du personnel sur le terrain. « *Le temps de vérification d'un bénéficiaire prend approximativement une minute*³³ » témoigne une ONG ayant testé la solution. Le système permet également de réduire drastiquement les frais financiers de 85 à 94%, « *le coût par bénéficiaire d'un QR code imprimé et laminé est de 0,30 USD, contre 2 à 5 USD pour la carte à puce qu'utilise généralement la Croix-Rouge kényane*³⁴ [le service de transferts

31 « Q&A with Gravity's lead engineer: François Guérin », Shiya Zhang, september 23, 2021, <https://medium.com/gravity-earth>

32 Redrose est une organisation à but non lucratif britannique créée en 2014 qui développe une solution de transfert d'argent électronique pour le secteur humanitaire. <https://redrosecps.com/>

33 Gravity Earth, Medium, <https://medium.com/gravity-earth>

34 *Ibid.*



d'argent via mobile M-PESA - N.D.L.R.] » indique Gravity.

Gravity participe d'un écosystème distribué, normé, basé sur la cryptographie et dont le fonctionnement est privacy by design³⁵. Un monde aux antipodes des pratiques habituelles des Organisations internationales d'aide humanitaire. Toutes utilisent aujourd'hui des logiciels de management de l'identité différents, chacun reposant sur la constitution de base de données centralisées, reliées au système bancaire traditionnel, international et local ou aux opérateurs de télécommunications locaux. Et dont la procédure d'inscription des bénéficiaires doit recommencer à chaque nouveau programme, y compris au sein d'une même ONG.

La proposition de Gravity est de « *créer un identifiant décentralisé qui pourra ensuite être utilisé avec les autres programmes d'aides de l'ONG et avec d'autres ONG, ce qui auparavant était impensable*³⁶ » explique Sharanya Thakur, chef de projet chez Gravity.

S'est ainsi posée la question de l'interopérabilité de « *l'explorateur d'identifiant décentralisé* » que propose Gravity. Un explorateur de blockchain est un logiciel en ligne permettant de

visualiser les écritures ancrées sur un réseau blockchain. Dans le cas de Gravity, l'explorateur de blockchain permet aux ONG de vérifier l'identité ou l'un des attributs de l'identité d'une personne. Gravity s'est assuré de l'interopérabilité entre différentes blockchains et différents protocoles, en s'appuyant sur un explorateur générique, open source, plus ouvert que celui initialement développé en interne, et surtout interopérable avec la blockchain publique Tezos et d'autres systèmes d'identité décentralisés.

L'intérêt pour les ONG est de pouvoir vérifier, à partir d'un seul outil en ligne, l'identité décentralisée d'une personne indépendamment de la blockchain et du protocole utilisé. Ainsi, en juillet 2021, Gravity et Tykn, une entreprise du secteur humanitaire créé à Amsterdam au Pays-Bas en 2016, ont annoncé³⁷ une collaboration pour tester l'interopérabilité de leurs solutions d'identité décentralisée. Ils ont réalisé une preuve de concept d'interopérabilité entre le protocole d'identification numérique de Gravity construit sur la blockchain publique Tezos et le portefeuille d'identité de Tykn construit sur la blockchain publique Sovrin, dans le cadre du projet DIGID (Dignified Identities in Cash Programming) au Kenya.

35 *Privacy by design* : Ann Cavoukian, ancienne Commissaire de l'information et de la protection de la vie privée de l'Ontario, au Canada et inventrice de la *privacy by design* qui signifie que la vie privée doit être prise en compte dès la conception d'un logiciel, et non pas à travers une régulation intervenant *a posteriori*. In Ann Cavoukian, Privacy By Design. The 7 foundational principles. Privacybydesign.ca, Jan 2011, <https://www.ipc.on.ca/wp-content/uploads/resources/7foundationalprinciples.pdf>

36 Entretien avec Sharanya Thakur, décembre 2021 – Association Blockchain for Good.

37 « Gravity, Tykn advancing interoperability of two decentralized identity solutions for the humanitarian sector », Charissa Ng Svenningsen, July 27, 2021, medium.com/gravity-earth/



Gravity travaille également avec la Digital Lending Association in Kenya³⁸ (DLAK), une association de prêteurs numériques au Kenya. Un prêt numérique est un processus de prêt entièrement dématérialisé et qui ne nécessite donc pas de passage par une banque ou un établissement financier physique.

En forte croissance en Inde mais aussi en Afrique, le prêt numérique au Kenya recense à lui seul 49 opérateurs³⁹. L'association DLAK, lancée début 2019 par onze membres fondateurs dont Tala, Alternative Circle, Stawika Capital, Zenka Finance, Okolea, Lpesa, Four Kings Investment, Kuwazo Capital et Finance Plan, rassemble aujourd'hui quelque 11 millions d'emprunteurs dans le pays. Gravity fournit une solution d'identité décentralisée à l'association DLAK pour les applications de prêt et a déployé une plateforme de partage de données pour la souscription de crédit en temps réel.

Enfin, Gravity travaille avec la Chambre d'industrie de Gaziantep en Turquie et le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) pour déployer leur solution d'identité décentralisée auprès des réfugiés syriens qui participent à des programmes de formation.

La problématique est la suivante. « *Des centaines d'organisations proposent des formations à quatre millions de réfugiés syriens en Turquie. Cependant, en l'absence de registres centraux ou de partage de données : (1) il n'y a pas de visibilité sur le nombre de bénéficiaires qui ont été atteints et (2) il est impossible de fournir la bonne formation à la bonne personne au bon moment* » explique Allen Walter de Tezos⁴⁰.

Le projet avec Gravity consiste ainsi à fournir à chacun des bénéficiaires des « *titres d'éducation vérifiables, basés sur des certificats numériques*⁴¹ » déployés sur la solution d'identité décentralisée. Fin 2021, Gravity comptait 3 000 personnes à travers le Kenya et la Turquie inscrites sur le mainet* de la plateforme Gravity⁴², c'est-à-dire disposant d'un identifiant décentralisé (DID voir *supra*) sur leur blockchain publique.

38 « Building the Future of Digital Lending », The Digital Lenders Association of Kenya, retrieved May 9 2022, [dlak.co.ke/](https://www.dlak.co.ke/)

39 « State of Digital Lending in Kenya - 2021 », Reel Analytics Ltd, August 2021, <https://www.dlak.co.ke/uploads/1/9/8/3/19835783/2021-reelanalytics-digital-lending-research-report.pdf>

40 « Gravity: A Decentralized Solution To Create Trusted Private Digital Identities For Real-Life Use On Tezos », Allen Walters, April 17, 2021, <https://xtz.news/latest-tezos-news/gravity-a-decentralized-solution-to-create-trusted-digital-identities-for-real-life-use/>

41 *Ibid.*

42 *Ibid.*

ENJEUX ET QUESTIONS

L'identité numérique décentralisée est un nouveau paradigme encore en construction, évoqué pour la première fois en 2012⁴³. Il se développe en même temps que perdure celui de l'identité numérique centralisée et de l'identité numérique fédérée, dont les promoteurs ont beaucoup à perdre. En effet, l'un des enjeux majeurs du déploiement d'un paradigme d'identité décentralisée vient des résistances de la part des acteurs privés dont le modèle repose sur l'identification de leurs utilisateurs, notamment à des fins publicitaires et commerciales.

Rod Hall, analyste chez Goldman Sachs observe ainsi qu'à l'heure actuelle « *l'identité numérique n'appartient pas à l'utilisateur, mais est plutôt fournie par une myriade de sites web et de gardiens (...) Au lieu de se connecter avec Facebook, Google ou Apple, un avenir*

*orienté blockchain permettrait aux utilisateurs de se "connecter soi-même" sans avoir besoin d'une tierce partie pour confirmer l'identité*⁴⁴ ». La position des éditeurs de navigateurs web, Mozilla, Alphabet, ou Apple est sans équivoque. Fin 2021, le W3C a procédé à un vote portant sur l'opportunité de recommander la spécification pour les « identificateurs décentralisés » DID. Le vote au sein du W3C étant secret, les seuls commentaires publics viennent de Tantek Çelik, en charge des standards Web au sein de Mozilla Corporation et font également référence aux commentaires de Microsoft et de Google. Mozilla reproche à la spécification DID de n'avoir « *aucune opérabilité pratique*⁴⁵ », ce qui « *encourage la divergence plutôt que la convergence*⁴⁶ » et pourrait, dans certains cas, favoriser la centralisation des données.

43 « Évoquée pour la première fois par la formulation 'Sovereign Source of Authority' en 2012, l'identité décentralisée connaît une accélération majeure de son attrait et de son adoption depuis 2017 », Thibault Langlois-Berthelot. Proposition d'une taxonomie française pour l'identité décentralisée. Publié le 22 octobre 2021, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03398096>

44 « Ways blockchain can deactivate Facebook, Apple and Google's business models, per goldman », Tiernan Ray, The Technology Letter, December 20, 2021, <https://www.thetechnologyletter.com/the-posts/ways-blockchain-can-deactivate-facebook-apple-and-googles-business-models-per-goldman>

45 « Are Mozilla, Apple, Google opposing user control over identity ? | Billionaire kicks off effort to challenge social networks with "distributed" identity », Privacy Beat, September 24, 2021, <https://itega.org/2021/09/24/why-mozilla-is-opposing-user-control-over-identity-billionaire-kicks-off-effort-to-challenge-social-networks-with-distributed-identity/>

46 *Ibid.*



Mozilla affirme également que la prise en charge par DID des technologies de registres distribués telles que la « *blockchain* » pourrait conduire à « *un traitement énergivore contribuant au changement climatique mondial*⁴⁷ », et de conclure que cette norme ne doit pas devenir une recommandation.

Se pose également la question de savoir quelle est l'entité (entreprise, gouvernement, organisation décentralisée, *startup*...) qui met en place un système d'identité numérique décentralisée.

Est-ce qu'une identité auto souveraine fournie par un État sera reconnue au sein d'un autre écosystème et inversement ? Est-ce qu'un État pourrait reconnaître une identité souveraine qui ne provient pas d'eux ? Une certitude pour assurer cette interopérabilité, l'identité numérique décentralisée devra tout à la fois s'appuyer sur des standards et un langage commun et le W3C joue un rôle de premier plan à ce sujet⁴⁸. Il s'avère que mettre en place une solution d'identité décentralisée au niveau régional dépend largement de la maturité des services publics du pays : il est bien plus simple pour un pays qui ne dispose pas d'un système d'identité de basculer progressivement

vers un modèle d'identité décentralisée et plus complexe à envisager de la part d'un pays qui s'appuie sur des services publics matures.

Autre question, comment déployer une solution d'identité décentralisée dans des pays dont les infrastructures de réseau, la connectivité à Internet et le taux d'équipement en téléphonie et smartphone ne sont pas développés, ou tout du moins laissent des gens de côté ? IN Groupe et UNICEF France tentent de répondre à cette problématique en proposant DID4ALL « *une identité numérique dans un contexte de faible connectivité, d'équipement technologiquement limité [feature-phone*], d'illettrisme et d'illectronisme*⁴⁹ ». Le projet vise tout particulièrement à fournir une identité aux 166 millions d'enfants dans le monde qui ne bénéficient pas d'une existence juridique dans leur pays. L'objectif de DID4ALL est de combiner une technologie de reconnaissance vocale, une blockchain et les systèmes de télécommunication en proposant un système qui « *ne dépend pas d'un accès à internet, est accessible par tous, même les personnes qui ne savent pas lire ou écrire, est fiable, car reposant sur l'identification par la voix qui est un facteur d'authentification*

47 Ibid.

48 « Verifiable Credentials Data Model v1.1 Expressing verifiable information on the Web W3C Recommendation », November 9, 2021, <https://www.w3.org/TR/vc-data-model/>

49 Perrine de Coëtlogon, Marc Durand, Maxime Jeantet, Claire Génin, Romuald Ramon, et al.. Les technologies blockchain au service du secteur public. [Rapport de recherche] Université de Lille (2018-2021). fhal-03232816v2f <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03232816/document#page=50>

unique et, enfin, est sécurisée puisque les données sont stockées de façon distribuée puis horodatée sur une blockchain⁵⁰ ».

L'identité numérique décentralisée pose également la question de savoir comment fait une personne qui perdrait le dispositif numérique sur lequel est enregistrée ses attestations vérifiables*. Si elles sont stockées sur un téléphone portable et que ce dernier est perdu ou détruit, comment les récupérer ?

Avec les solutions d'identité décentralisée reposant sur des « HD wallet⁵¹ » (*hierarchical deterministic wallet* - porte-clé déterministe hiérarchique), comme notamment celle proposée par Atala Prism, une personne peut restaurer son portefeuille d'identité* en renseignant une « phrase mnémotechnique* », en anglais « seed phrase », générée lors de la création d'un portefeuille d'identité sur une blockchain. Il convient donc, pour un utilisateur, soit de noter cette phrase mnémotechnique (ce qui constitue alors un risque de se faire pirater son identité), soit de devoir la retenir par cœur, au risque de ne jamais pouvoir accéder de nouveau à son portefeuille d'identité*.

50 Ibid.

51 « HD wallet » = *hierarchical deterministic wallet* (en français, porte-clé déterministe hiérarchique). Décrit par Gregory Maxwell dans la Bitcoin Improvement Proposal (BIP) 0032, ce type de porte-clé permet de générer de nombreuses clés privées à partir d'un seul point de départ. Cette « graine », une valeur aléatoire de 128 bits qui peut se présenter sous la forme de 12 mots en anglais, permet de sauvegarder et de restaurer facilement l'ensemble de ses clés sans avoir besoin d'aucune autre information. Source : <https://bitcoin.fr/quest-ce-quun-hd-wallet/>

52 Ameyaw,P.D.;deVries, W.T. Toward Smart Land Management: Land Acquisition and the Associated Challenges in Ghana. A Look into a Blockchain Digital Land Registry for Prospects. Land 2021, 10, 239. <https://doi.org/10.3390/land10030239>

Dans le domaine des registres fonciers décentralisés, notamment en Afrique, comment concilier une approche individualiste et occidentale d'un registre foncier avec la culture du pays où ce type de registre est mis en place ? Cette question prend tout son sens dans un contexte où interviennent des acquisitions récentes de terres importantes et engendrent des critiques sur les systèmes de gouvernance foncière. Au Ghana par exemple, les chercheurs Prince Donkor Ameyaw et Walter Timo de Vries de la Technische Universität München en Allemagne rapportent que « *le principe primordial pour toutes ces catégories de terres coutumières est que la terre appartient collectivement aux membres des communautés, mais que la gestion de la terre (et les décisions concernant son allocation et son utilisation) sont prises par les autorités coutumières au nom de ses membres. Selon certaines traditions au Ghana, la terre est gérée par les chefs coutumiers au nom des membres passés, actuels et futurs des communautés*⁵² ».

La question de savoir comment concilier le droit coutumier avec un registre distribué reste donc entière.



**MONNAIE ÉLECTRONIQUE
PAIR-À-PAIR & ARGENT
PROGRAMMABLE**

MONNAIE ELECTRONIQUE PAIR-A-PAIR ET ARGENT PROGRAMMABLE

Nombre de projets dans la base : 235

Nombre de projets actifs : 141

Nom des projets actifs : 0x ; AAVE ; Abra ; Acre Africa micro-insurance ; Adhara ; Airfox ; Akoin ; Akropolis ; Algorand ; Arbol ; Arcadia Blockchain Technologies ; B Protocol ; Bazaar Tech ; Bisq ; Bit Sika ; Bitpesa ; Bitt ; Bloom ; Botkeji (Kaoun) ; Bottlepay ; Cambiatus ; Cellulant ; CELO ; CentBee ; Centrifuge ; Chia ; Chynge ; Circles ; ClickPesa ; Coinify ; Coins.ph ; Colendi ; Compound ; Compound Labs ; Crowdforce ; Crypto Development Fund (CDF) ; Curve ; DEMARS ; Dether ; dGE - Diggi ; Dharma ; Diem (ex Libra) ; Digital Citizen Fund ; DistributedTown ; Dorium ; Eco Coin ; EcoChain ; efforce ; Ejara ; Etherisc ; Ethic Hub ; Evercity ; Everex ; Experty.io ; FintruX ; Flutterwave ; Freecoin ; FutureThinkers NFT ; Galoy ; Gooddollar ; Grassroots Economics ; Hive online ; Humaniq ; IcrowdU ; Impact Cred ; Inclusivity. network ; Insurwave ; Invictus Capital ; IOHK ; ixo foundation ; KamPay ; Kin ; Kivéclair ; Kiwi New Energy ; Korapay ; KYC-Chain ; Leman ; Local Bitcoin ; Lumoin ; MakerDAO ; M-Akiba ; Moeda ; Mojaloop ; MonedaPAR.com ; Money Track ; Muun ; Mybit ; Neco ; Nexo ; Oradian's Stellar integration ; Pancake Swap ; Parity.Tech ; Paxful ; PayCase ; Pesabase ; PledgeCamp ; Project Greshm ; Proof of Impact ; Qitmeer ; QLAY ; Raay ; Raise ; RAZ Finance ; REMIIT ; Remitano ; Retreeb ; Ricult ; Rupee Blockchain ; SALT ; Senditoo ; sharehope ; Smart Valor ; SmartCredit ; SparkPoint ; Stellar ; Superfluid ; SureRemit ; Surely ; Taro (protocol) ; Tecra ; Telcoin ; Tempo's Stellar integration ; Token Engineering Commons (TEC) ; TopI ; TrafiGuard (Bloom) ; Trustlines Network ; UCASH ; Uniswap ; Uphold ; Uulala ; VipiCash ; Vumi's Stellar Integration (Praekelt Foundation) ; Waba ; Weifund ; Women's coin ; Worldremit ; Wyre ; Xago ; Xend ; Yensesa ; Zlto ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à bonjour@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>



Parce que Bitcoin est d'abord un « système de Monnaie Électronique en Pair-à-Pair¹ », le chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair & argent programmable » est logiquement la catégorie dans laquelle nous avons recensé le plus de projets dans la base de données PositiveBlockchain.io.

Un système de paiement traditionnel est, selon la Banque des règlements internationaux (BRI), surnommée la « banque des banques centrales² », un « *système constitué d'un ensemble d'instruments, de procédures bancaires et de systèmes interbancaires de transfert de fonds, destiné à assurer la circulation de la monnaie* ». Alors qu'un système de monnaie électronique pair-à-pair est un protocole de réseau pair-à-pair, utilisant la cryptographie asymétrique et assorti d'un mécanisme de consensus afin de maintenir le registre des échanges de la monnaie électronique directement entre ses utilisateurs, sans plus passer par un organisme financier ou tiers de confiance.

« *Le problème fondamental de la monnaie conventionnelle est toute la confiance qui est nécessaire pour qu'elle fonctionne* », écrivait Satoshi Nakamoto avant de disparaître³. « *Il faut faire confiance*

à la banque centrale pour qu'elle ne dévalorise pas la monnaie, mais l'histoire des monnaies fiduciaires est pleine de violations de cette confiance. Il faut faire confiance aux banques pour détenir notre argent et le transférer électroniquement, mais elles le prêtent par vagues de bulles de crédit avec à peine une fraction en réserve⁴ ».

Parmi les projets identifiés dans la base de données, bon nombre participent de ce mouvement initié en 2018 appelé Finance Décentralisée - DeFi, pour *Decentralized Finance* ou encore « *Finance ouverte* » - *Open Finance*, comme le suggère Clément Jeanneau de Blockchain Partner, pour marquer le fait que la Finance ouverte est d'abord un moyen et non une fin en soi. La DeFi permet à quiconque en a les moyens et indépendamment du pays où il se trouve ou de sa nationalité, d'emprunter, prêter et investir, assurer et échanger des crypto-actifs sans passer par un intermédiaire, les transactions étant sécurisées via l'usage d'une blockchain et de *smart contracts**. Aujourd'hui, le système financier tel qu'il est conçu exclut l'ensemble de la population qui n'a pas d'identité⁵ (voir Chapitre Identité et Propriété). Selon le Global Findex de la Banque mondiale⁶, si 3,8 milliards de

1 « Bitcoin : un système de paiement électronique pair-à-pair », Satoshi Nakamoto, bitcoin.org, consulté le 10 mai 2022, https://bitcoin.org/files/bitcoin-paper/bitcoin_fr.pdf

2 La Banque des règlements internationaux (BRI, en anglais *Bank for International Settlements*, BIS) est une organisation financière internationale créée en 1930 réunissant 63 banques centrales dans le monde, dont l'activité équivaut à 95 % du PIB mondial.

3 « The Crypto-Currency Bitcoin and its mysterious inventor », Joshua Davis, October 3, 2011, <https://www.newyorker.com/magazine/2011/10/10/the-crypto-currency>

4 *Ibid.*

5 Voir Chapitre « Identité et propriété ».

6 Demirguc-Kunt, Asli; Klapper, Leora; Singer, Dorothe; Ansar, Saniya; Hess, Jake. 2018. « Base de données Global Findex 2017 : Mesurer l'inclusion financière et la révolution technico-financière ». Washington, DC

personnes dans le monde possèdent un compte auprès d'une banque ou d'un service d'argent mobile, 1,7 milliards de personnes n'y ont pas accès. La Finance décentralisée ne s'adresse pas directement aux plus défavorisés, mais permet à quiconque en a les moyens d'accéder à des produits financiers, avec ou sans identité régaliennne, et indépendamment du pays où il se trouve.

De plus, cette monnaie électronique pair-à-pair ne se cantonne pas à concurrencer la monnaie traditionnelle en tant qu'instrument d'échange. Parce qu'elle est avant tout informatique, **cette monnaie électronique est également programmable, à travers les blockchains dites de deuxième génération (Ethereum, Tezos, Solana ...)**. Des règles informatiques, que l'on appelle *smart contracts*^{*7}, précisent quand et comment la valeur est échangée, renouvelant de fond en comble l'usage de la monnaie traditionnelle, tout en inventant des services financiers totalement inédits. L'inclusion financière portée par les monnaies électroniques pair-à-pair et l'argent programmable est au coeur de huit des dix-sept Objectifs de développement durables (ODD), qui en font une cible à part entière, l'ODD 1 sur l'élimination de la pauvreté ; l'ODD 2 sur l'élimination de la faim, la réalisation de la sécurité alimentaire et la promotion de l'agriculture durable ; l'ODD 3 sur la bonne santé et le bien-être ; l'ODD 5 sur l'égalité des sexes et l'autonomisation économique des femmes ; l'ODD 8 sur la

promotion de la croissance économique et de l'emploi ; l'ODD 9 sur la promotion de l'industrialisation, de l'innovation et des infrastructures ; et l'ODD 10 sur la réduction des inégalités. Par ailleurs, l'ODD 17 sur le renforcement des moyens de mise en œuvre prévoit implicitement que l'inclusion financière jouera un rôle plus important en mobilisant davantage d'épargne pour favoriser l'investissement et la consommation, qui sont porteurs de croissance⁸.

Comme nous le verrons, la diversité des applications des monnaies électroniques pair-à-pair n'a de limite que l'imagination de leurs concepteurs : Envoi de fonds en pair-à-pair (remittances) (**Bitcoin, Stellar, portefeuilles de crypto-devises**), paiement et micro-paiement en pair-à-pair (**Lighting Network/protocole Taro, Celo, Retreeb**), prêt et emprunt d'argent en pair-à-pair et Finance décentralisée (**Maker DAO et DAI, Compound, Aave, Uniswap**), évaluation du risque et notation de crédits (**FintruX, TrafiGuard**), monnaie dirigée et monnaie complémentaire décentralisée (**Leman, Grassroot Economics, Money Track**), assurance décentralisée reliée à un réseau d'oracles décentralisés (**Etherisc, Arbol**), revenu universel (**ImpactMarket, GoodDollar**), donation sans intermédiaire (**Kiveclair**), financement ou investissement participatif décentralisé (**Tecra Space, Raise**), inclusion financière (**Ethic Hub, Waba, Hive Online**), vérification d'impact (**Ixo Foundation, Proof of Impact**) ou encore investissement d'impact (**Sun Exchange**).

- World Bank. openknowledge.worldbank.org License: CC BY 3.0 IGO.

7 Les mots marqués d'un astérisque font l'objet d'une définition dans le glossaire.

8 L'inclusion financière et les ODD, UNCDF, consulté le 10 mai 2022, <https://www.uncdf.org/fr/financial-inclusion-and-the-sdgs>



Envos de fonds transfrontaliers

En 2020, 200 millions de femmes et d'hommes, travailleurs migrants, ont envoyé l'équivalent de 544 milliards de dollars à plus de 800 millions de membres de leur famille estime l'ONU⁹. Les **envois de fonds individuels**, parfois d'une valeur relativement faible, **représentent pourtant collectivement des flux trois fois supérieurs à ceux de l'aide publique au développement mondiale**. Selon la Banque mondiale, en 2020, les transferts de fonds officiellement enregistrés¹⁰ vers les pays à revenu faible et intermédiaire ont atteint 540 milliards de dollars, soit seulement 1,6 % de moins que les 548 milliards de dollars observés en 2019, et ce malgré la pandémie de Covid-19¹¹. Quant aux transferts d'argent *via mobile*, bien que dérisoires par rapport à l'envoi traditionnel de fonds, ils s'élèvent à 16 milliards de dollars en 2022, en hausse de 48 % par rapport à l'année précédente¹².

Or ces fonds passent tous par des organismes financiers, qui ponctionnent une commission sur chaque envoi. La réduction du coût des transferts de fonds correspond à l'indicateur 10.c.1 des Objectifs de développement durable,

qui fixe une cible de 3 % de frais. Néanmoins, ces derniers s'élèvent aujourd'hui en moyenne à 7,60 % du montant envoyé. Ces frais sont les moins élevés en Asie du Sud, à 4,9 %, et les plus élevés en Afrique Sub Saharienne, à 8,2 %¹³.

Un transfert d'argent traditionnel par un opérateur financier ou un opérateur de télécommunication est ponctionné d'une commission calculée en pourcentage, passe par de nombreux intermédiaires et prend parfois plusieurs jours. Une transaction entre particuliers *via* une blockchain publique ne coûte que quelques centimes et est validée en quelques minutes, à l'instar du réseau **Stellar**, une infrastructure de paiement distribuée, libre d'utilisation et *open source*, fondée en 2014 par Joyce Kim et Jed McCaleb.

Ou encore le protocole Bitcoin sur le réseau *Lightning Network*^{*}, dont le principe consiste à ouvrir un canal de paiement au-dessus de la blockchain Bitcoin afin d'opérer des transactions à l'échelle de micro transactions, quasiment sans frais, en enregistrant seulement deux transactions sur la blockchain principale : celle qui ouvre et ferme le canal de transaction (voir encadré p.87).

9 Les envois de fonds, une bouée de sauvetage, Nations Unies, consulté le 10 mai 2022, <https://www.un.org/fr/observances/remittances-day>

10 Dilip Ratha, Eung Ju Kim, Sonia Plaza, and Ganesh Seshan. 2021. « Migration and Development Brief 34: Resilience: COVID-19 Crisis through a Migration Lens. » KNOMAD-World Bank, Washington, DC. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO

11 « Defying Predictions, Remittance Flows Remain Strong During COVID-19 Crisis », World Bank, Press Release, May 12, 2021, <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/05/12/defying-predictions-remittance-flows-remain-strong-during-covid-19-crisis>

« State of the Industry Report on Mobile Money 2022 », GSMA. https://www.gsma.com/sotir/wp-content/uploads/2022/03/GSMA_State_of_the_Industry_2022_French.pdf

13 Dilip Ratha, Eung Ju Kim, Sonia Plaza, and Ganesh Seshan. 2021. « Migration and Development Brief 34: Resilience: COVID-19 Crisis through a Migration Lens. » KNOMAD-World Bank, Washington, DC. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO

Selon la Banque mondiale, les commissions liées aux transferts d'argent traditionnels représentent un manque à gagner allant jusqu'à 16 milliards de dollars par an à ces travailleurs, en termes d'épargne pour celui qui envoie les fonds, ou en termes de fonds supplémentaires pour les destinataires.

Au Salvador par exemple, 35 % de la population reçoit des transferts d'argent de l'étranger, à hauteur de 6 milliards de dollars en 2020, soit 23% de son PIB¹⁴. Dans des propos rapportés par CNBC, le Président du Salvador, Nayib Bukele estime que « *les prestataires de services monétaires comme Western Union et MoneyGram perdront 400 millions de dollars par an en commissions sur les envois de fonds, grâce à l'adoption du bitcoin par le pays*¹⁵ ».

De plus, bon nombre de gouvernements de pays, notamment en Afrique, mettent en place une taxe sur les transactions via téléphone portable. Au Ghana par exemple, une taxe de 1,5 % sur l'argent mobile, connue sous le nom d'e-levy, suscite de fortes critiques et « *nuit à des millions de propriétaires de petites entreprises et à d'autres groupes à faible revenu, alors que le coût de la vie augmente*¹⁶ ».

14 « Money transfer to Venezuela, Remittance Flows Amidst Evolving Foreign Exchange », Manuel Orozco Kathryn Klaas, May 2020, thedialogue.org.

15 « El Salvador's new bitcoin plan could cost money providers like Western Union and others \$400 million a year, says President Bukele », MacKenzie Sigalos, September 17, 2021, <https://www.cnbc.com/2021/09/09/el-salvador-bitcoin-move-could-cost-western-union-400-million-a-year.html>

16 « Africa's mobile money taxes may drive the poor out of the digital economy », Kent Mensah, Nita Bhalla, June 5, 2022, <https://www.news24.com/citypress/business/africas-mobile-money-taxes-may-drive-the-poor-out-of-the-digital-economy-20220605>

17 « The 2021 Geography of Cryptocurrency Report » Analysis of Geographic Trends in Cryptocurrency Adoption and Usage, Oct 2021, go.chainalysis.com.

18 « 'Smallest cryptocurrency economy,' Africa records 1200% hike in a year », Shubham Pandey, Sep 16, 2021, ambcrypto.com

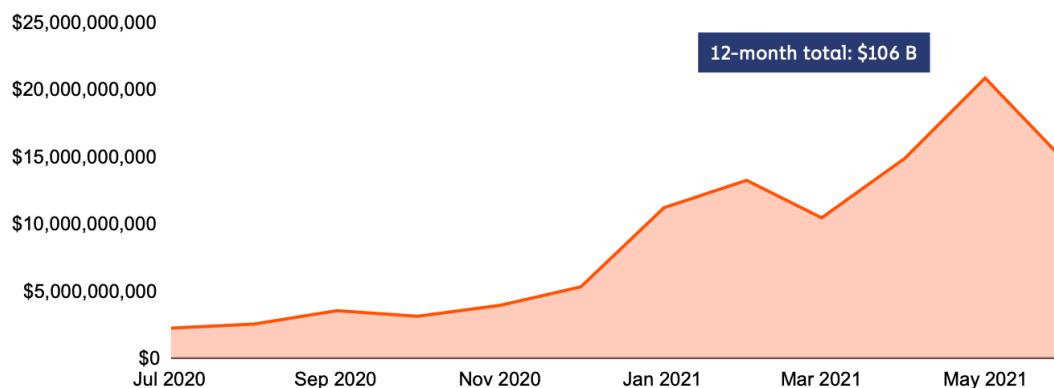
19 Adedeji Owonibi : <https://ng.linkedin.com/in/adedeji-owonibi/> cité par Rapport Chainanalysis

En marge des transferts de fonds par un intermédiaire bancaire ou un opérateur téléphonique, le transfert d'argent en pair-à-pair semble ainsi de plus en plus utilisé, notamment dans *plusieurs pays des marchés émergents, dont le Kenya, le Nigeria, le Vietnam et le Venezuela* explique le rapport *The 2021 Geography of Cryptocurrency Report*¹⁷ édité par Chain Analysis.

Selon Shubham Pandey, rédacteur pour Ambcrypto, « *les restrictions sur les envois de fonds [par les banques NDLR], couplées à l'inflation, ont été les principaux catalyseurs de la migration des personnes vers les crypto-actifs*¹⁸ ». Au Nigeria par exemple, l'usage des cryptos actifs s'est développé après que la banque centrale du Niger ait interdit aux banques de détail de faciliter les transactions vers des crypto actifs, et qu'elle ait également limité par 500 dollars à la fois les envois de fonds à l'étranger de leurs clients¹⁹.



Cryptocurrency value received by Africa | Jul '20 - Jun '21



Order book trading volumes for Sub Saharan Africa from LocalBitcoins and Paxful in USD. Source : usefultulips.org - Septembre 2021.

Local Bitcoin, Paxful ou encore **Remitano** servent à acheter des Bitcoins ou autres crypto-actifs afin de les transférer sans banque, d'échapper à l'inflation et la dévaluation de la monnaie locale.

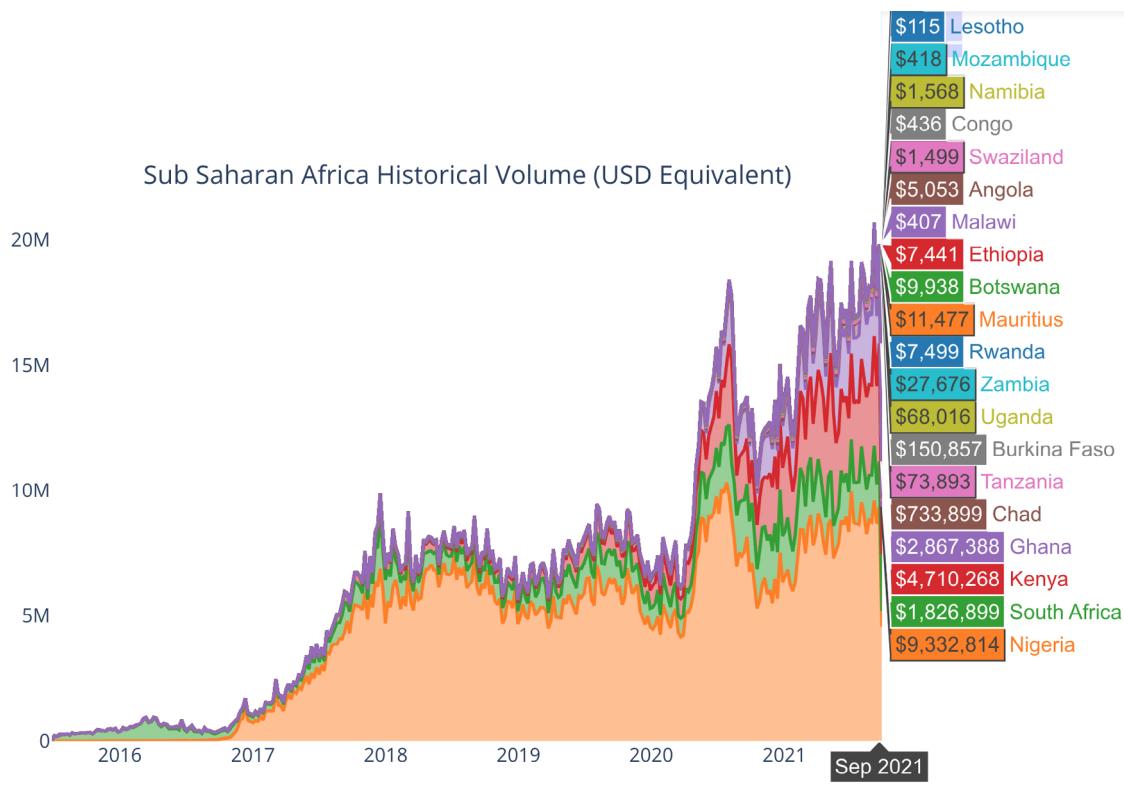
Créé en juin 2012 à Helsinki en Finlande, **LocalBitcoins**²⁰ permet aux utilisateurs d'échanger leur monnaie locale contre des bitcoins et offre une protection par séquestre afin de garantir la sécurité des crypto-actifs et des deux négociants. Sous la pression du Ministère de la Justice américain²¹ LocalBitcoins a cessé, à partir de 2019, de permettre aux clients d'effectuer des échanges en face à face de crypto-actifs contre de l'argent liquide de manière anonyme. Avec presque cinq millions d'utilisateurs dans le monde, **Paxful**, fondée en 2015, est une place de marché d'échange pair-à-pair qui permet

à ses utilisateurs d'acheter et vendre des crypto actifs via quelque 300 options de paiement. Artur Schaback, cofondateur de Paxful explique que les crypto actifs servent en Afrique pour faire du commerce avec l'étranger : « *Si vous travaillez avec un partenaire en Chine pour importer des marchandises à vendre au Nigeria ou au Kenya, il peut être difficile d'envoyer suffisamment de monnaie fiduciaire en Chine pour compléter vos achats (...) Il est souvent plus facile de simplement acheter des bitcoins localement sur un échange P2P, puis de les envoyer à votre partenaire.* » Crée en 2015, **Remitano** est basée aux Seychelles et propose un service similaire à celui de Paxful et LocalBitcoins. Remitano est particulièrement bien implanté au Vietnam, en Inde, au Cambodge ou encore au Nigéria. Comme le montre ce graphique publié sur usefultulip.org²², le volume de

20 « A propos de Local Bitcoin », Local Bitcoin, consulté le 10 mai 2022, <https://localbitcoins.com/about>

21 « Local Bitcoinstops cash trades, personal offers on platform », Landon Manning, June 4, 2019, <https://bitcoinmagazine.com/culture/localbitcoins-stops-cash-trades-personal-offers-on-platform>

22 UsefulTulips.org est un site web qui explore les cas d'usage des crypto-actifs dans le monde. Les graphiques présentés sur le site Web proviennent des données d'échange des sites web d'échange de bitcoins en pair-à-

**Sub Saharan Africa Historical Volume (USD Equivalent)**Source : usefultulips.org - Septembre 2021.

transactions enregistrées sur LocalBitcoins et Paxful au Nigéria, en Afrique du Sud, au Kenya et au Ghana enregistre une forte hausse depuis le début de l'année 2021. L'usage de crypto-actifs pour se protéger de l'inflation a toutefois débuté dès 2013, lorsque des Chypriotes achetèrent des bitcoins pour préserver leur épargne.

Paiement et micro-paiement en pair-à-pair

L'une des critiques récurrentes à l'encontre des crypto-actifs est qu'ils ne seraient pas un moyen de paiement stable du fait de leur forte volatilité. Or la diversité des

crypto-actifs et des initiatives de systèmes de paiement alternatifs contredit largement cette idée reçue. Non seulement des crypto-actifs peuvent servir de moyen de paiement, dont, pour certains, les frais sont bien moins élevés que les systèmes de paiement centralisés, mais permettent également de construire des services monétaires en pair-à-pair inédits, du fait de leur caractère programmable. Par exemple, le réseau **Bitcoin** permet d'effectuer des transactions en Satoshi sur un canal Lighting network*, de manière extrêmement rapide et quasiment sans frais. La blockchain **Celo** et ses crypto-actifs stables* indexés sur les

pair les plus populaires au monde, LocalBitcoins et Paxful. <https://www.usefultulips.org/about.html>



monnaies fiat* permettent d'effectuer des transactions en pair à pair dont les frais s'élèvent en général autour de 0,01 \$. Le développement de *smart contracts** à partir d'une monnaie comme le cUSD inaugure des services inimaginables avec le système financier actuel.

Retreeb se présente comme un moyen de paiement éthique, en affectant un tiers de sa commission à des projets sociaux et environnementaux. A mi-chemin entre un nouveau moyen de paiement et un système décentralisé de financement participatif, **Retreeb** se présente comme une alternative aux systèmes de paiement centralisés comme Visa, Mastercard, Stripe ou Paypal « *en plaçant la responsabilité sociale et environnementale (RSE) au cœur de son modèle économique²³* ». Fondée en 2019 à Genève en Suisse par Jérémi Lepetit et Sayah El Yatim, l'entreprise se définit comme un moyen de paiement éthique pour le grand public et comme une réponse à la question de savoir « *comment capter la valeur produite par les transactions de paiement, pour mieux la réaffecter aux enjeux sociétaux de notre époque ?²⁴* » explique Jérémi Lepetit.

Comme tout moyen de paiement, Retreeb s'adresse au consommateur final qui paye un commerçant à l'aide d'une application téléchargée sur son smartphone ou via une

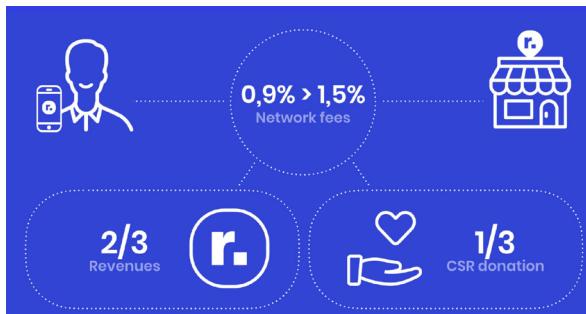
carte bancaire biométrique. Le paiement en monnaie fiat est converti en un token indexé²⁵ à la monnaie fiat de manière transparente pour l'utilisateur (euro, franc suisse etc.). Jérémi Lepetit, co-fondateur et CEO de Retreeb explique ainsi que « *le stableTreeb est collatéralisé à 100 % par la réserve en monnaie FIAT correspondante au dépôt. Le stableTreeb est mint [créé] au dépôt et burn [détruit] après le paiement en monnaie FIAT du commerçant toutes les 72h00 maximum. Le stableTreeb évolue en vase clos dans notre système. Il n'est listé nulle part. Ces propriétés garantissent sont indexation 1:1 permanente. D'un point de vue juridique ce n'est pas un stablecoin mais une monnaie électronique on-chain** ». L'intérêt pour le commerçant est de sensiblement baisser la commission bancaire traditionnelle, de l'ordre de 2,5 à 5 %, payée aux infrastructures de paiement centralisées comme Visa ou Paypal, à une commission ramenée entre 0,9 % et 1,5 %.

Le paiement déclenche un *smart contract* appelé « contrat social autonome » (*Social Smart Contract*) qui implique, en plus de celui qui paye et celui qui encaisse, une tierce partie : le bénéficiaire social, (*Social Beneficiary*) représentant une cause, une association, une Organisation non gouvernementale, ou un projet désigné comme bénéficiaire des engagements sociétaux, choisi par l'utilisateur.

23 Retreeb - Pitchdeck, consulté le 28 avril 2022, <https://retreeb.io/assets/retreeb-pitchdeck.pdf>

24 « Cette finance qui veut changer le monde », Myret Zaki, 16 novembre 2020, <https://www.bilan.ch/finance/cette-nance-qui-veut-changer-le-monde>

25 Selon Jérémi Lepetit, cofondateur de Retreeb, « Le stableTreeb est collatéralisé à 100% par la réserve FIAT correspondante au dépôt. Il est mint [créé] au dépôt et burn [détruit] après le paiement en FIAT du commerçant toutes les 72h maximum. Le stableTreeb évolue en vase clos dans notre système. Il n'est listé nulle part. Ces propriétés garantissent sont indexation 1:1 permanente. D'un point de vue juridique ce n'est pas un stablecoin mais une monnaie électronique on-chain* ». Entretien Association Blockchain for Good, 30 juin 2022.



Source : <https://retreeb.io/>

Le protocole de paiement développé par Retreeb, Cell, est construit sur un *fork*²⁶ du Directed Acyclic Graph (DAG²⁶) de Lachesis développé par la Fondation Fantom²⁷. Le mécanisme de consensus qui permet de valider et sécuriser les transactions, Lachesis aBFT (asynchronous Byzantine Fault Tolerant), a été utilisé pour notamment réduire les commissions financières, reposer sur une infrastructure financière capable de supporter jusqu'à 10 000 transactions par seconde tout en étant interopérable avec la Ethereum Virtual Machine (EVM)*, et enfin, pour minimiser les coûts environnementaux et l'impact carbone du système de paiement.

Retreeb met en œuvre deux tokens :

- Le(s) Treeb, un crypto-actif stable* collatéralisé sur la monnaie de l'utilisateur et soutenu par une réserve de valeur strictement égale à son offre ce qui permet à l'utilisateur, indépendamment de la monnaie fiat qu'il utilise, de ne pas avoir à se soucier de la conversion. Ainsi, un sTreeb en France équivaut

à un euro, 1 sTreeb en Suisse équivaut à un franc suisse, un sTreeb en Angleterre équivaut à un pound etc. « *Le système permet de construire un sTreeb par zone monétaire qui aura toujours la valeur de la devise locale de l'utilisateur* » détaille Jérémi Lepetit.

- Et le (u)Treeb ou TREEB, un jeton utilitaire de gouvernance utilisé par la communauté Retreeb à des fins de gouvernance, notamment pour sélectionner les projets RSE supportés, et pour accéder à un statut *premium* dont l'objectif est d'encourager la propriété à long terme des (u)Treeb par ses utilisateurs.

Celo imaginé en 2017 et lancé en mai 2020 à San Francisco aux Etats-Unis, permet à quiconque possédant un smartphone d'envoyer et recevoir des crypto-actifs et s'adresse tout particulièrement aux populations qui sont exclues du système bancaire traditionnel. Celo a longtemps été considéré comme le concurrent le plus sérieux du projet de crypto-actif Libra, lancé par Facebook début 2020, rebaptisée Diem, puis finalement arrêté.

Si les velléités de Facebook étaient de lancer une monnaie mondiale privée, Celo est l'équivalent *a contrario, open source*²⁸ et accessible à tous.

26 « Qu'est-ce qu'un graphe orienté acyclique (DAG) dans le domaine des crypto-actifs ? », Binance Academy, July 19, 2020, <https://academy.binance.com/fr/articles/what-is-a-directed-acyclic-graph-dag-in-cryptocurrency>

27 « What is Fantom ? », Fantom, retrieved May 10, 2022, <https://fantom.foundation/fantom-faq/>

28 Celo GitHub: <https://github.com/celo-org/celo-blockchain>



C'est une blockchain publique sans permission issue d'un *fork** de la blockchain Ethereum. Outre son jeton natif, qui permet d'opérer la gouvernance décentralisée du protocole, Celo a développé trois crypto-actifs stables* : le Celo Dollars (cUSD), le Celo Euro (cEUR), le Celo Real (cREAL), chacun indexé au dollar américain, à l'euro, et au real brésilien, et dont la circulation s'établit, en mai 2022, à 72 millions de cUSD, 37 millions de cEUR et 9 millions de cREAL. La promesse de Celo est donc d'être « *une blockchain mobile-first qui rend les outils et services financiers décentralisés (DeFi) accessibles à toute personne possédant un téléphone portable* ». Le portefeuille Celo (et les 26 autres compatibles) permet non seulement à ses utilisateurs d'effectuer et recevoir des paiements directement aux personnes figurant dans la liste de ses contacts, mais également, de payer les commerçants qui l'acceptent, d'envoyer des fonds transfrontaliers pour de très faibles coûts, d'envoyer et de recevoir une aide caritative ainsi que de nombreux services « crypto » développés à partir de l'écosystème Celo.

A l'instar d'Ethereum, Celo est programmable à travers des *smart contracts** utilisant la machine virtuelle Ethereum* (EVM). Celo repose cependant sur un algorithme de consensus basé sur la preuve d'enjeu appelé Tolérance de panne byzantine pratique* (pBFT) plutôt

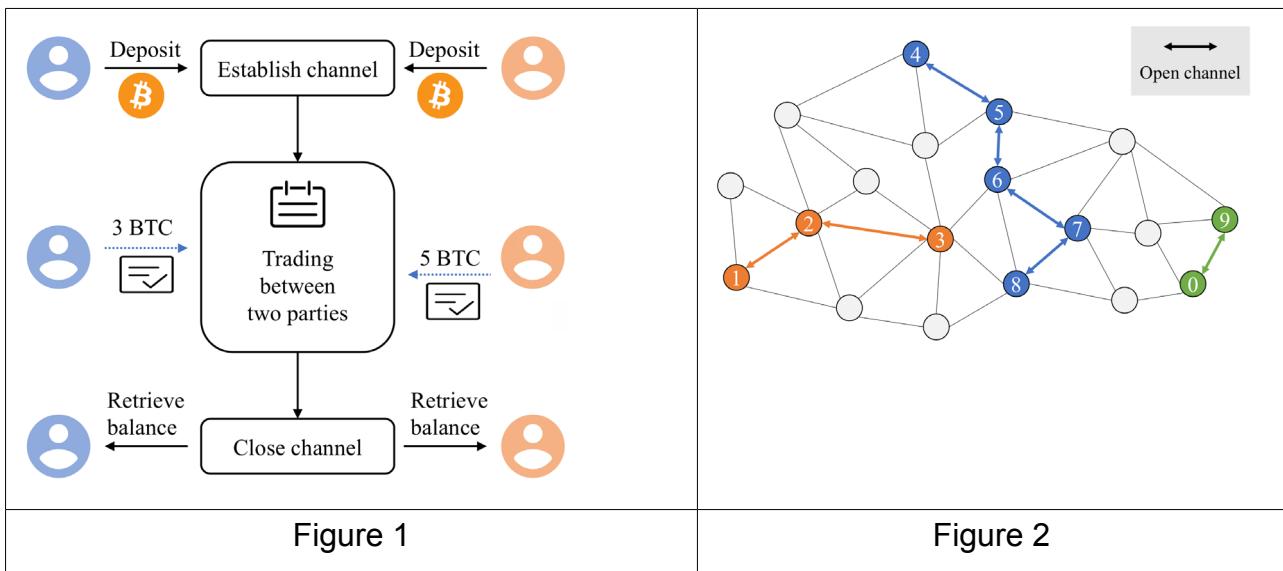
que sur la preuve de travail, ne requérant donc pas de dépense énergétique pour valider et sécuriser les transactions. Les crypto-actifs développés sous Celo sont conformes à la norme Ethereum ERC-20 et donc compatibles avec tous les outils et applications de l'écosystème d'Ethereum.

Les numéros de téléphone sont associés à des adresses, au nombre de 2,8 millions en mai 2022, à l'aide d'un protocole d'identité décentralisé* (voir Chapitre identité et propriété). La couche logicielle de Celo a été développée pour être compatible avec tous les smartphones, y compris ceux qui ont peu de mémoire et une faible connectivité au réseau. De plus, plutôt que de stocker l'intégralité des transactions de la blockchain sur le téléphone de chacun, Celo a développé un système basé sur zk-SNARK²⁹ permettant aux nœuds mobiles de se synchroniser avec la blockchain Celo en utilisant des preuves à divulgation nulle de connaissance* (ZKP), ce qui permet de vérifier rapidement le calcul de synchronisation de la blockchain sans avoir à l'exécuter localement et d'assurer une confidentialité des données.

Depuis son lancement en mai 2020, la blockchain Celo a levé 66,5 millions de dollars en huit tours de table³⁰. Du fait de sa compatibilité avec le réseau Ethereum, Celo est utilisé par plusieurs centaines de projets blockchain et d'applications

29 « Techniques cryptographiques visant à assurer la confidentialité des données sur une blockchain publique . Source : « Les zk-SNARKs et les zk-STARKs expliqués », February 26, 2019, <https://academy.binance.com/fr/articles/zk-snarks-and-zk-starks-explained>

30 « Celo », Crunch Base, Crunch Base website, retrieved May 10 2022, <https://www.crunchbase.com/organization/celo-3846>



Processus du Lightning Network

Source : Zhou, Qiheng & Huang, Huawei & Zheng, Zibin. (2020). Solutions to Scalability of Blockchain: A Survey. IEEE Access. PP. 10.1109/ACCESS.2020.2967218.

décentralisées partout dans le monde³¹: **Impact Market** et **GoodDollar**, qui collectent des dons redistribués sous la forme d'un revenu de base à destination de populations défavorisées, **Toucan Protocol**, **Wren** et **Moss** qui permettent de compenser son empreinte carbone, **Grameen**, une application d'aide humanitaire ou encore **Masa**, un protocole de crédit décentralisé, pour n'en citer que quelques-uns.

Contrairement à une idée reçue, la blockchain Bitcoin permet également d'effectuer des micro transactions pour un coût proche de zéro. Le réseau Lightning (*Lightning Network*), un protocole de paiement de pair-à-pair construit comme une application de deuxième couche sur la blockchain Bitcoin, permet d'opérer des transactions en bitcoin extrêmement

rapides, de l'ordre d'un million par seconde, quasiment sans frais et sans dépense énergétique³², puisque la validation des transactions ne nécessite pas de minage par la preuve de travail*.

Depuis 2015, des acteurs de la communauté Bitcoin, dont notamment Lightning Labs, Blockstream et ACINQ, travaillent sur ce protocole qui apporte l'une des réponses au problème de montée en charge (scalabilité) de Bitcoin qui, pour rappel, ne peut traiter que 7 à 10 transactions par seconde. Le réseau Lightning fonctionne depuis mai 2018.

31 « Apps », Celohub, Celohub website, retrieved May 10, 2022, <https://celohub.org/apps>

32 « Comprendre le Lightning Network », Yorick de Mombynes, Institut Sapiens, 23 juin 2020, <https://www.institutsapiens.fr/wp-content/uploads/2020/06/Comprendre-le-Lightning-network.pdf>



Le livre blanc³³ du réseau Lightning, rédigé par Joseph Poon et Thaddeus Dryja de Lightning Labs et publié le 14 janvier 2016, le décrit comme « *un réseau de canaux de paiement dans lequel chacun des hôtes est connecté en pair-à-pair, et sans recours à une hiérarchie centrale, forme une structure de réseau maillé où chaque nœud peut recevoir, envoyer et relayer des transactions* ».

Sur la figure 1 (voir *supra*), qui se lit de haut en bas, deux personnes disposant d'un portefeuille bitcoin établissent un canal de paiement au-dessus de la blockchain Bitcoin (hors chaîne) en déposant chacun un certain montant. Ils pourront ensuite, à travers ce canal de paiement, effectuer autant de transactions qu'ils le souhaitent (toujours d'un montant inférieur à la somme initiale déposée), validées instantanément, à des frais proches de zéro. Lorsqu'ils le souhaitent, ces deux personnes pourront fermer le canal, ce qui aura pour effet d'enregistrer le solde final de leur compte respectif sur la blockchain Bitcoin. Il n'y aura donc eu d'enregistrées dans la blockchain Bitcoin que la transaction initiale et celle finale, et autant de transactions que souhaitées, 100, un million ou plus, traitées au sein du même canal de paiement.

De plus, le réseau Lightning met en œuvre un réseau de canaux de paiement,

comme indiqué en figure 2, pour effectuer des transactions hors-chaîne (*off chain*^{*}) entre deux parties qui n'ont pas de canal de paiement direct établi entre elles mais qu'une route relie, de telle sorte que, le nœud 1 et 3 ou 4 et 8 peuvent également effectuer des transactions en pair-à-pair.

En avril 2022, le Lightning Labs a annoncé le lancement du **protocole Taro**, qui vise à pouvoir utiliser des crypto-actifs stables* dans les applications présentes sur le réseau Lightning³⁴. Elizabeth Stark, cofondatrice et CEO de Lightning Labs explique ainsi que Taro va « *bitcoiniser le dollar* ». Le protocole Taro permet de convertir des crypto-actifs stables* indexés au dollar en bitcoin, les router à travers le réseau Lightning, puis les convertir à nouveau de bitcoin en crypto-actifs stables* indexés au dollar, ce qui permettra, selon Elizabeth Stark, « *de mettre Bitcoin à la portée de milliards de personnes*³⁵ ».

L'intérêt d'utiliser le réseau Lightning est qu'il n'y a quasiment pas de limite au nombre de transactions par seconde sur le réseau, les transactions sont instantanées d'un bout à l'autre du monde et les frais de transaction sont potentiellement inférieurs à un Satoshi (0,00000001 BTC, soit 0.000039 \$ en avril 2022). Au 1^{er} juin 2022, le Lightning Network compte 17 570 nœuds et 85 320 canaux à travers lesquels

33 « The Bitcoin Lightning Network: Scalable Off-Chain Instant Payments », Thaddeus Dryja & Joseph Poon, Lightning Network Website, January 14, 2016, <https://lightning.network/lightning-network-paper.pdf>

34 « Announcing Taro: A New Protocol for Multi-Asset Bitcoin and Lightning », Ryan Gentry, April 5, 2022, <https://lightning.engineering/posts/2022-4-5-taro-launch/>

35 « Number of People Go Up, or Bitcoin as the World's Protocol of Value », Elizabeth Stark, April 5, 2022, https://medium.com/@lightning_labs/number-of-people-go-up-or-bitcoin-as-the-worlds-protocol-of-value-d1df7cefca37

circulent 3 920 BTC, soit 125 millions de dollars³⁶.

Kiveclair, [que nous présentons au chapitre Aide, Charité et Philanthropie – donation sans intermédiaire], donne à voir un cas d’usage intéressant du réseau Lightning. Débuté en octobre 2021 près de la ville de Goma, dans l’Est de la République démocratique du Congo (RDC), après l’éruption du volcan Nyiragongo, le projet Kiveclair, porté par une petite équipe sur place, avec le soutien technique et logistique du Cercle du Coin, Indenodes, Nodl et JohnOnchain, a pour objectif « *de venir en aide à une cinquantaine de familles en satoshi et les former à l'utilisation de Bitcoin* ». Il s’agit d’une campagne de dons en ligne, en satoshis* ou en Bitcoin, permettant d’équiper les personnes, sinistrées suite à l’éruption volcanique, d’un téléphone portable sur lequel est installé un portefeuille Bitcoin sur le réseau Lightning, à partir duquel chacun recevra deux fois par mois, pendant six mois, un don d’environ 25 USD en satoshis*. Les bénéficiaires participent également à une formation pour apprendre à utiliser ce portefeuille. Les bitcoins/Satoshis ne seront pas convertibles en monnaie locale, l’idée étant de les faire circuler dans l’économie locale à travers des commerces également accompagnés par Kiveclair, acceptant les paiements en bitcoin.

36 Lightning Network Search and Analysis Engine, retrieved June 1, 2022, <https://1ml.com>

37 « L’ingéniosité et l’inventivité du Lightning Network sont stupéfiantes », Rémy Demichelis, lesechos.fr, 25 août 2021. <https://investir.lesechos.fr/marches/bitcoin-crypto-actifs/l-expert-l-ingeniosite-et-l-inventivite-du-lightning-network-sont-stupefiantes-1977196.php>

38 « The State of Lightning », Arcane Research, October 5, 2021, <https://arcane.no/research/reports/the-state-of-lightning>

39 « What Is Decentralized Finance ?: A Deep Dive by The Defiant », Camila Russo, May, 2021, <https://coinmarketcap.com/alexandria/article/what-is-decentralized-finance>

Selon Yorick de Mombynes, « *le nombre de participants, de canaux et de bitcoins engagés sur le réseau Lightning augmente de manière exponentielle depuis le début de l’année 2021*³⁷ » et devrait compter, selon les estimations d’un rapport publié par Arcane Crypto en octobre 2021, 700 millions d’utilisateurs d’ici 2030³⁸.

DeFi - emprunter, épargner, investir

Même si le terme DeFi, - pour Decentralized Finance, Finance Décentralisée, a été employé pour la première fois en août 2018 sur un chat Telegram entre des développeurs informatiques d’Ethereum et des entrepreneurs de Set Protocol, 0x et Dharma³⁹, la Finance Décentralisée est née avec Maker DAO, créée en 2014 par l’entrepreneur danois Rune Christensen, une organisation autonome décentralisée* (DAO* - *Decentralized Autonomous Organization*) construite sur la blockchain publique Ethereum. Ce nouveau système informatique, décentralisé, adresse le premier des problèmes du système monétaire et du système financier international : son accessibilité. Comme le note l’Association française pour le Développement des Actifs Numériques (ADAN), « *notre accès aux services financiers dépend bien souvent de notre classe sociale ou de notre localisation géographique. Pourtant, l’inclusion financière est synonyme d’inclusion sociale* ».



Selon le site [ethereum.org⁴⁰](https://ethereum.org), la Finance décentralisée (DeFi) est « une alternative globale et ouverte au système financier actuel - Des produits qui vous permettent d'emprunter, d'épargner, d'investir, de commercer, et plus encore - basés sur une technologie open-source avec laquelle tout le monde peut programmer ».

Prenons l'exemple de Maker DAO pour mieux saisir les enjeux de la Finance décentralisée. Débutée en 2014 par Rune Christensen, et concrétisée en 2018 sous la forme d'une fondation dont le livre blanc a été publié en 2019⁴¹, Maker DAO est une Organisation autonome décentralisée (DAO*) sur Ethereum mettant en œuvre deux jetons : le DAI et le MKR. Le jeton DAI, est un crypto-actif stable*, c'est à dire qui vise à maintenir sa valeur aussi proche que possible d'un dollar américain (USD) grâce à un système automatisé de *smart contracts** programmés sur la blockchain publique Ethereum. **Le service permet ainsi à des prêteurs et des emprunteurs en DAI d'opérer, via un ensemble de smart contracts, les processus de prêt, de remboursement et de liquidation.**

Quant à l'Organisation autonome décentralisée*, elle rassemble les propriétaires de son token de gouvernance, le MKR, également programmé sur la blockchain publique Ethereum, et permettant à chacun de voter à propos de

l'évolution du code informatique des *smart contracts**. Maker DAO se définit comme « une monnaie stable et décentralisée qui ne fait aucune discrimination. Tout individu ou entreprise peut bénéficier des avantages de la monnaie numérique ». En 2021, plus de 400 applications et services ont intégré le DAI comme monnaie électronique. En octobre 2020, alors qu'un milliard de DAI ont déjà été créés, la Maker Fondation explique que le service le plus utilisé est le placement en vue de lutter contre l'inflation, suivi des produits et services de la DeFi, puis les jeux, l'art digital et le e-commerce.

En mai 2022, ce sont dorénavant 9,6 milliards de DAI générés, pour une valeur totale bloquée de 12,6 milliards de dollars. « *De nombreux adeptes précoce des crypto-actifs ont été incités à explorer cette technologie en raison des turbulences économiques que connaissait leur pays* » explique la Fondation Maker DAO. S'il est impossible pour ces populations d'accéder aux monnaies fiat euros, dollars, yuan... le DAI s'achète quant à lui sur une plateforme d'échanges décentralisés (DEX*), accessible à partir d'un smartphone. Le DAI se serait particulièrement bien implanté en Amérique latine dont les pays sont soumis à une forte volatilité. En 2020, il aurait dépassé le Bitcoin en termes de volumes d'échange, notamment en Argentine, au Brésil, en Colombie et au Venezuela⁴².

⁴⁰ Ethereum.org est une ressource publique et *open source* pour la communauté Ethereum, à laquelle n'importe qui peut contribuer. L'Ethereum Foundation finance une petite équipe dédiée au développement et à la maintenance du site <https://ethereum.org/fr/about/>

⁴¹ DAO Maker - Whitepaper, 2019 <https://drive.google.com/file/d/1tPRMktnros6ifJLfvQkrT6mAmEJvUufT/view>

⁴² « The Top Five Ways the Dai Stablecoin Is Used Around the World » MakerDAO, MakerDAO website, Oct 23 2020 <https://blog.makerdao.com/the-top-five-ways-the-dai-stablecoin-is-used-around-the-world/>

En juillet 2021, la Maker Foundation a déclaré cesser ses opérations d'ici la fin de l'année et basculer vers une décentralisation totale, c'est à dire que la gouvernance sera entre les seules mains des membres de l'Organisation autonome décentralisée⁴³, représentée par ceux qui possèdent des tokens MKR. Maker DAO, ouvert à tous, attire même les banques, comme la Société Générale qui a testé un emprunt de 20 millions de dollars en octobre 2021⁴⁴.

Cette Finance ouverte se développe depuis 2018, en parallèle du système financier actuel, duquel il se distingue fondamentalement selon trois caractéristiques : « *il est nativement numérique ; il fonctionne sur des infrastructures décentralisées ; il est ouvert à tous, aussi bien en termes d'usage, de consultation que de participation à sa construction* » explique Clément Jeanneau. Selon l'aggrégateur de données Defillama⁴⁵, la valeur totale verrouillée dans la DeFi atteindrait 245 milliards de dollars en décembre 2021, dont 163 milliards de dollars uniquement sur la blockchain Ethereum, suivi, dans l'ordre, par les blockchains publiques Binance Smart Chain, Terra, Avalanche, Solana, Tron, Fantom, Polygon, Arbitrum et DefiChain.

43 « MakerDAO Moves to Full Decentralization; Maker Foundation to Close in ‘Months’ The move by the protocol’s home office has been long expected », Brady Dale, July 20, 2021, <https://www.coindesk.com/tech/2021/07/20/makerdao-moves-to-full-decentralization-maker-foundation-to-close-in-months/>

44 « Société Générale Applies for \$20M MakerDAO Loan Using Bond Token Collateral One of the largest banks in France is working with one of the largest protocols in DeFi on a historic step toward institutional adoption », Andrew Thurman, October 1, 2021, <https://www.coindesk.com/business/2021/09/30/societe-generale-applies-for-20m-makeraod-loan-using-bond-token-collateral/>

45 Defi Llama: defillama.com

46 Un teneur de marché automatisé (AMM) est un type de protocole d'échange décentralisé (DEX) qui s'appuie

En juin 2022, la valeur totale verrouillée dans la DeFi est tombée à 74 milliards de dollars.

La DeFi permet à quiconque en a les moyens, y compris ceux qui n'ont pas accès aux prêts classiques, de partout dans le monde, emprunter, prêter et investir, assurer et échanger des crypto-actifs sans passer par un intermédiaire, les transactions étant sécurisées via l'usage d'une blockchain et de smart contracts*. Parmi les applications phares de la DeFi, les plateformes d'échanges décentralisées (DEX*) et les protocoles de prêt et d'emprunt rencontrent le plus de succès. Les bourses d'échanges décentralisés, Decentralized Exchange, appelées DEX, permettent d'échanger des crypto-devises sans aucun intermédiaire, ou plateforme centralisée (Centralized Exchange Platform - CEX).

Uniswap, lancée en novembre 2018, est la première DEX, permettant à ses utilisateurs, à partir d'un simple portefeuille, d'échanger des jetons ERC20 basés sur le réseau Ethereum, tout comme PancakeSwap, une bourse d'échanges décentralisés de jetons BEP20, basée sur la Binance Smart Chain ou encore Curve Finance, fondée en 2020, une autre DEX* construite sur le réseau Ethereum, permettant d'échanger des crypto-actifs stables* à des frais réduits en utilisant notamment un protocole de teneur de marché automatisé (AMM⁴⁶).



Quant aux protocoles de prêt et d'emprunt comme **Nexo**, **Aave** ou encore **Compound**, tous trois créés en 2017, ce sont des protocoles *open source* qui permettent à leurs utilisateurs de placer et gagner des intérêts sur leurs crypto-actifs, en les déposant dans un des *pools de liquidité** pris en charge par la plateforme ou d'emprunter des crypto-actifs en déposant un collatéral souvent aussi, voire plus élevé que la somme empruntée. Il est possible d'y déposer de très nombreux crypto-actifs, dont le DAI de Maker DAO, précédemment cité.

Une autre offre de la DeFi s'adresse spécifiquement aux petites et moyennes entreprises, comme **FintruX**, créé à Singapour en 2017 ou encore **TrafiGuard** en 2020, construit sur la plateforme **Bloom**⁴⁷ de **0x**⁴⁸, un protocole *open source* qui permet l'échange d'actifs de pair-à-pair sur la blockchain Ethereum. Cette offre s'inscrit dans l'Objectif de développement durable 9, et tout particulièrement la cible 9.3, « *accroître, en particulier dans les pays en développement, l'accès des entreprises, notamment des petites entreprises industrielles, aux services financiers, y compris aux prêts consentis à des conditions abordables, et leur*

*intégration dans les chaînes de valeur et sur les marchés*⁴⁹ ».

Bloom se présente comme « *un protocole de bout en bout d'attestation d'identité, d'évaluation des risques et de notation de crédit construit sur la blockchain Ethereum. Bloom permet aux prêteurs traditionnels et aux prêteurs en monnaie numérique de servir des milliards de personnes qui ne peuvent actuellement pas obtenir un compte bancaire ou une cote de crédit*⁵⁰ ». TrafiGuard, en s'appuyant sur Bloom, souhaite lancer une « *solution de financement du commerce pour les micro et petites entreprises*⁵¹ » en réunissant de manière inédite acheteurs et vendeurs internationaux.

TrafiGuard permet à l'acheteur / importateur de déposer des fonds dans un *smart contract** créé sur Bloom. Ces fonds, déposés en crypto-actif stable* USDC (indexé sur un dollar) sont bloqués dans un *smart contract** qui génère des intérêts, et permet au vendeur/exportateur de contracter, sur place, un prêt dans sa monnaie locale. Pour prouver sa solvabilité, le vendeur/exportateur s'identifie sur **Bloom**, fournit des documents d'imposition locale, fournit la lettre de transport

sur un algorithme de tarification pour évaluer les actifs. Un AMM fonctionne de manière similaire à un échange de carnet d'ordres en établissant des paires de négociation - par exemple, BTC/DAI excepté que, les échanges se faisant de manière décentralisée, le donneur d'ordre interagit avec un *smart contract* dont la liquidité provient d'autres utilisateurs appelés fournisseurs de liquidité (LP).

47 « The Truth Platform », Bloom, retrieved May 10, 2022, <https://bloom.co/>

48 « Introduction to Ox », Ox, retrieved May 10, 2022, <https://0x.org/docs/core-concepts>

49 Objectif de développement durable 9 : « Accès de toutes les entreprises aux services financiers ». <https://www.agenda-2030.fr/17-objectifs-de-developpement-durable/article/odd9-mettre-en-place-une-infrastructure-resiliente-promouvoir-une>

50 « What is Bloom ? », Bloom, retrieved May 10, 2022, <https://faq.bloom.co/article/5-what-is-bloom>

51 « How TrafiGuard uses Bloom to Provide SME Financing on the Blockchain », David Raphael, March 17, 2021, <https://bloom.co/blog/how-trafiguard-uses-bloom-to-provide-sme-financing-on-the-blockchain/>

(*Bill of Lading*), c'est à dire le document légal délivré par un transporteur à un expéditeur qui détaille le type, la quantité et la destination des marchandises transportées et enfin, des informations vérifiables liées au transport international.

En fonction du score de risque calculé par Bloom, le vendeur/exportateur pourra contracter un prêt compris entre 10 % et 50 % de la garantie déposée par l'acheteur/importateur. Toutes les preuves de documentation sont fournies au *smart contract** via les réseaux d'oracles décentralisés de Chainlink. Les protocoles blockchain imbriqués sont donc celui de **Bloom**, qui permet de déployer les *smart contracts**, l'oracle **Chainlink**, pour certifier des données externes, le service de prêt et d'emprunt **Compound** (voir *supra*) et le crypto-actif stable* USDC pour assurer les échanges financiers transfrontaliers. Si le processus paraît complexe à première vue, il constitue cependant l'opportunité pour un vendeur/exportateur d'accéder à une solution de financement innovante à laquelle il n'aura jamais accès avec le système financier traditionnel.

Monnaies locales complémentaires

Une monnaie locale complémentaire est une monnaie créée en complément d'une monnaie nationale, afin d'être échangée dans une zone géographique déterminée pour notamment « *améliorer les échanges au niveau local et dynamiser l'économie réelle*⁵² ». Dans les pays développés, les monnaies locales complémentaires sont un outil monétaire permettant de stimuler 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 particuliers⁵³. Il existe peu de « crypto actif local » même si des initiatives similaires, au contexte réglementaire bien différent, ont eu lieu notamment au Kenya avec Grassroot Economics ou en Suisse avec le Léman⁵⁴. Dans les pays en développement, quand la monnaie nationale se fait rare parce que l'économie d'un pays se contracte, les gens les plus défavorisés n'ont plus les moyens d'échanger des biens et services entre eux.

Depuis 2010, **Grassroots Economics** a mis en œuvre des programmes de monnaies communautaires inclusives (*Community Inclusion Currency - CIC*) dans plus de 45 localités au Kenya et a aidé au déploiement de deux monnaies communautaires en Afrique du Sud et au Congo, et accompagne plusieurs projets en dehors de l'Afrique.

52 Monnaie locale complémentaire : <https://www.novethic.fr/lexique/detail/mlc.html>

53 « Le numérique au secours des monnaies locales et complémentaires », Bénédicte Martin, Netcom, journals.openedition.org, 18 décembre 2018, consulté le 15 décembre 2021.

54 « Le Léman, concrètement ? », Monnaie Leman, <https://monnaie-leman.org/le-leman-concretement>



Elle a également formé des gens au *design* de monnaie communautaire en Colombie, au Nigéria et en France.

Fondation à but non lucratif, Grassroots Economics cherche à « *donner aux communautés marginalisées les moyens de prendre en charge leurs propres moyens de subsistance et leur avenir économique* », notamment par la mise en œuvre de **programmes d'autonomisation économique**.

En 2018, Grassroots Economics a basculé d'un modèle de monnaie complémentaire « traditionnelle »⁵⁵, qui prenait la forme de coupon au format papier, circulant à côté de la monnaie nationale, le shilling kényan, à un modèle numérique et géré *via* un protocole blockchain assorti d'un token.

Ce projet de *Community Inclusion Currency* est *open source* et extrêmement bien documenté, que ce soit d'un point de vue technique⁵⁶ mais aussi opérationnel, notamment à travers des cours en ligne (*Massive open online course - MOOC*, formation en ligne ouverte à tous) pour apprendre à développer une monnaie communautaire papier avant de suivre une formation pour déployer une monnaie complémentaire basée sur leur blockchain.

De plus, Grassroots Economics est *blockchain agnostic*, et n'a pas hésité à changer de protocole pour chercher à optimiser au mieux l'architecture technique et l'utilisabilité du service.

En 2018, Grassroots Economics utilisait POA network⁵⁷, une *sidechain** de la blockchain publique Ethereum reposant sur la preuve d'autorité* (*Proof of Authority*) pour émettre les monnaies communautaires inclusives (CIC), ainsi que sur le protocole Bancor, à l'époque un exchange centralisé (CEX*) également développé sur Ethereum, permettant ainsi de rendre les différentes CIC convertibles entre elles.

En 2021, Grassroots s'est appuyée sur xDai chain, la blockchain publique de MakerDAO (voir *supra*) pour émettre les CIC, tandis qu'Uniswap a pris le relais de Bancor. Ces deux changements ont permis à Grassroots de reprendre la main sur son système de conversion des CIC tout en diminuant les frais de transactions. Depuis 2022, Grassroots développé sa propre blockchain, la Kitabu chain⁵⁸, créée à partir d'une copie de la blockchain publique permissionnée Bloxberg⁵⁹.

55 Avant que Grassroots Economics ne devienne entièrement numérique, ils ont construit des monnaies communautaires en utilisant des bons en papier de 2010 à 2018 au Kenya. Leur MOOC donne quelques explications sur comment et pourquoi ils ont fait cela : <https://www.grassrootseconomics.org/pages/mooc.html>

56 « Karibu to Grassroots Economics » Docs », Grassroots Economics, Grassroots Economics Website, retrieved May 10 ,2022, <https://docs.grassecon.org/>

57 POA Network: <https://www.poa.network/>

58 Kitabu chain: <https://docs.grassecon.org/software/kitabu/>

59 L'infrastructure bloxberg est une blockchain publique permissionnée établie par un consortium d'organismes de recherche afin de fournir aux scientifiques des services décentralisés partout dans le monde. Source : Bloxberg, <https://bloxberg.org>

La Kitabu chain présente les avantages de pouvoir opérer sans connexion internet, et surtout, de ne pas faire supporter de frais de transactions aux bénéficiaires des CIC.

Une étude⁶⁰ publiée en janvier 2022 a été menée par Rebecca Mqamelo de l'université de Minerva aux Etats-Unis et porte sur l'analyse de l'usage de la monnaie d'inclusion communautaire de Grassroots Economics exécutée sur la blockchain xDAI de MakerDAO (voir paragraphe "DeFi - emprunter, épargner, investir"). L'étude présente les résultats de ce qui pourrait être le premier essai de contrôle randomisé au monde sur une monnaie communautaire. Des bénéficiaires situés à Nairobi, au Kenya, ont reçu l'équivalent de 30 dollars en crypto-actif local et complémentaire, ce qui a permis une analyse d'impact du programme de transfert d'argent. Les résultats, rendus publics, montrent que la circulation de la monnaie d'inclusion communautaire remplit son rôle de véhicule financier et a également mis en lumière « *les différences entre les effets du traitement pour les hommes et les femmes, ce qui suggère que les déséquilibres entre les sexes persistent* ». C'est en tout cas l'une des premières étude quantitative et qualitative dans le domaine des « Crypto for Good », qui montre que « *les monnaies d'inclusion communautaires sont un outil puissant permettant aux communautés de modifier la structure de leur économie locale de l'intérieur*⁶¹ ».

Assurances

Le marché de l'assurance est concentré dans les mains de quelques grands groupes internationaux, parmi lesquels AIA Group Limited (Hong-kong), China Life Insurance (Chine), Prudential plc (Royaume-Uni). Ces géants de l'assurance ont commencé à s'intéresser aux blockchains à partir de 2018, principalement pour fluidifier les processus de paiement ou tenter de repérer les fraudes. Des projets blockchain dans le domaine de l'assurance ont émergé deux ans auparavant, notamment avec la création d'**Etherisc** en 2016 à Munich en Allemagne, par Christoph Mussenbrock, Stephan Karpischek et Renat Khasanshyn ou encore **Arbol**, créé à New York en 2018.

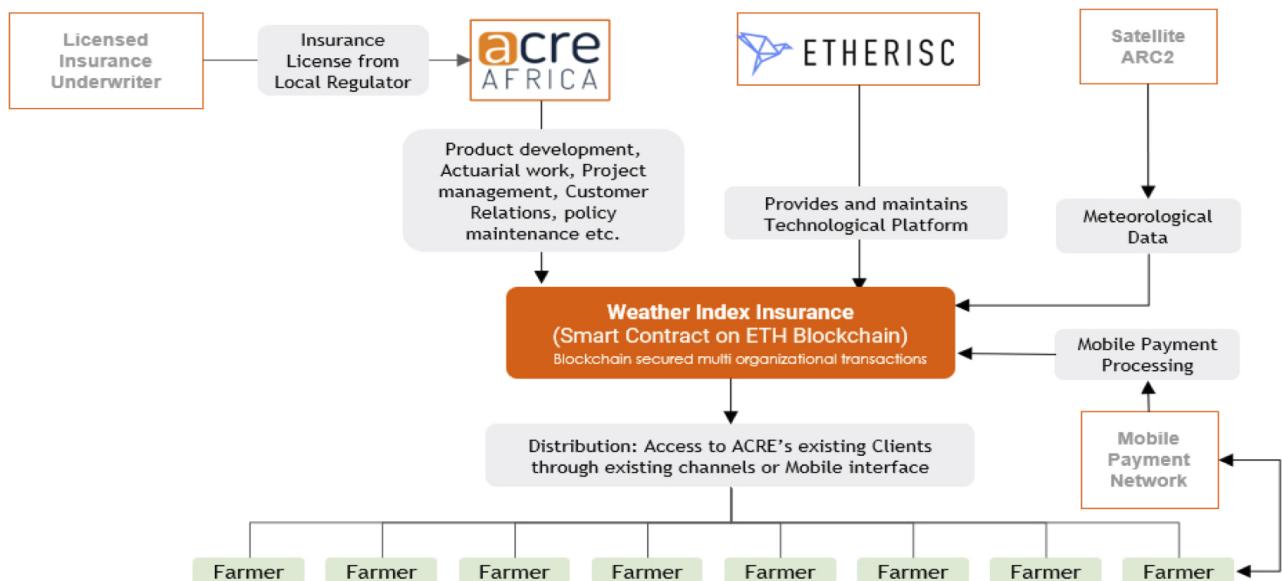
Etherisc développe un « *protocole pour les assurances décentralisées*⁶² », pour notamment rendre « *l'achat et la vente d'assurance plus efficace qu'avec les assurances traditionnelles, mais également permettre une réduction des coûts opérationnels tout en offrant une meilleure transparence des opérations*⁶³ ». Basé sur la blockchain publique Ethereum, Etherisc développe un protocole, les *smart contracts** et une plateforme blockchain appelée « Generic Insurance Framework ». En fournissant cette infrastructure *open source* et en libre accès pour l'assurance décentralisée, quiconque souhaite créer ses propres produits d'assurance peut

60 « Community Currencies as Crisis Response: Results From a Randomized Control Trial in Kenya » www.frontiersin.org Rebecca Mqamelo* Minerva University, San Francisco, CA, United States, January 3, 2022. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbloc.2021.739751/full#h1>

61 *Ibid.*

62 « Make Insurance Fair and Accessible », Ethersic, Ethersic website, retrieved May 10, 2022, etherisc.com/

63 *Ibid.*



System and relevant actors of the Etherisc Weather Index Insurance in Kenya

Source : Blockchain for Climate Action and the Governance Challenge Report from INATBA and CLI, <https://climateledger.org/resources/Blockchain-for-Climate-Action-and-the-Governance-Challenge.pdf>

utiliser la plateforme. Une trentaine d'applications ont déjà été testées, de l'assurance commerciale aux solutions dédiées au secteur non lucratif telles que les mutuelles, l'assurance de pair-à-pair, les modèles coopératifs ou encore de nouvelles structures d'assurances, comme celle lancée au Kenya en octobre 2020. Dans ce pays, l'offre d'assurance classique serait défaillante en raison « *d'une couverture insuffisante, de retards dans les paiements, du coût élevé des primes et d'un manque de transparence et de confiance*⁶⁴ ».

Etherisc, avec l'Agriculture and Climate Risk Enterprise Ltd (ACRE), un intermédiaire d'assurance agréé qui fournit

des solutions de gestion des risques pour réduire les risques agricoles et climatiques au Kenya, ont mis en place une assurance décentralisée à destination des agriculteurs locaux, entièrement automatisée et indexée sur les conditions météorologiques, avec le support de Chainlink et de la Fondation Ethereum. Lancée en novembre 2020, elle comptait un an plus tard « *12 567 agriculteurs assurés avec au moins 511 petits agriculteurs en mesure de recevoir un paiement de mi-saison pendant la longue saison des pluies 2021*⁶⁵ ».

Le processus est le suivant : un agriculteur paye des semences dont le prix inclut une prime d'assurance paramétrique, c'est à dire une assurance corrélée aux conditions

64 « Reunion with our Partners In Nairobi: A recap of Etherisc's week in Kenya », Etherisc, <https://blog.etherisc.com/reunion-with-our-partners-in-nairobi-a-recap-of-etheriscs-week-in-kenya-a0560ffa77f>

65 « Reimagining agriculture insurance using blockchain technology », Jean Eyase, Acreafrica.com, November, 11, 2021, <https://acreafrika.com/reimagining-agriculture-insurance-using-blockchain-technology/>



Tableau de bord global Impact Market

Source : <https://impactmarket.com/fr-FR/global-dashboard>

météorologiques ; l'agriculteur qui plante ses semences utilise un identifiant généré par SMS avec un simple *feature phone** afin de fournir des informations à la fois personnelles et agricoles. Une fois que le contrat d'assurance décentralisé est lancé, le programme interagit de manière autonome suivant les données correspondant à l'assurance de l'agriculteur.

L'ACRE propose quatre assurances⁶⁶ : (1) *Une couverture indexée sur la météo*, basée sur des données pluviométriques recueillies par satellite. La couverture est déclenchée lorsque les précipitations sont inférieures à certains seuils déterminés selon les besoins de la culture (2) *Une couverture de l'indice d'humidité du sol*, basée sur des données d'humidité du sol collectées également par satellite. La couverture se déclenche lorsque l'humidité du sol est inférieure à certains seuils déterminés selon les besoins de la culture (3) *un index de végétation*, basé sur la couverture végétale, adapté pour les

zones arides et semi-arides. La couverture est déclenchée lorsque la quantité de végétation est inférieure à la quantité suffisante pour permettre la vie animale. Et enfin (4) *une couverture des cultures multi péril* qui couvre l'agriculteur en cas de sécheresse, de précipitations excessives, d'inondations, de grêle, de tempêtes de vent, de gel ou encore de feu, la liste n'étant pas exhaustive.

De plus, plutôt que de s'appuyer sur un tiers de confiance, centralisé, pour obtenir les données météorologiques, le *smart contract* est connecté à des « réseaux d'oracle* décentralisé » *Decentralized Oracle Networks*, c'est à dire proposé par un panel d'intermédiaires qui fournissent des informations externes et vérifiées via une autre blockchain ou tout autre service. L'oracle utilisé par Etherisc pour ce programme est **Chainlink**, un *Decentralized Oracle Networks* créé en 2017 à New York, aux Etats-Unis, par Sergey Nazarov et Steve Ellis.

⁶⁶ « Who we are », ACRE Africa, ACRE Africa website, retrieved May 10, 2022, <https://acreafrica.com/>



En décembre 2021⁶⁷, plus d'un millier de projets blockchain s'appuient sur le réseau d'oracle décentralisé créé par Chainlink au sein duquel 77 milliards de dollars de crypto-actifs sont sécurisés sur le réseau, dans des *smart contracts**. Le réseau **Chainlink** est maintenu par quelque 700 nœuds qui mettent en œuvre des *smart contracts* hybrides, c'est à dire reposant sur des composants qui s'exécutent à la fois *on-chain**, sur une blockchain, n'importe laquelle, et des composants qui s'exécutent *off-chain** sur leur réseau d'oracle décentralisé, et qui garantit l'intégrité, la véracité et la confidentialité des données.

Chainlink est ainsi intégré aux *smart contracts** d'Etherisc pour fournir des données météorologiques en temps réel. Lorsque survient une intempérie couverte par le *smart contract**, ce dernier déclenche automatiquement le paiement de l'indemnisation. Cette solution permettrait, selon l'INATBA⁶⁸, « *de réduire les primes jusqu'à 30 % et de ramener le cycle des sinistres de trois mois à une semaine (...) et les paiements sont effectués via M-PESA, directement sur le téléphone portable de l'agriculteur*⁶⁹ ». Tous les paiements sont enregistrés sur la blockchain d'Etherisc pour fournir une

transparence des transactions. Etherisc a annoncé que 6 000 agriculteurs⁷⁰ allaient être indemnisés avant la fin de la saison 2021, via le système de paiement mobile M-Pesa pour leurs récoltes perdues ou affectées. L'ACRE et Etherisc ont pour ambition d'assurer, dans les prochaines années, 250 000 agriculteurs⁷¹ en Afrique de l'Ouest.

Revenu universel

Selon la définition du Mouvement français pour un Revenu de Base (MFRB), « *le revenu de base, appelé aussi revenu d'existence, revenu inconditionnel ou encore allocation universelle, est un revenu versé par une communauté politique à tous ses membres, sur une base individuelle, sans conditions de ressources ni obligation de travail*⁷² ». Pour quel montant ? A qui ? Combien de temps ? Qui finance ? Quel impact sur la société et le travail ? Les innombrables questions liées à la mise en place d'un revenu universel sont posées depuis le 17^e siècle, notamment par Locke et la « clause lockéenne », qui justifiait une allocation universelle comme la contrepartie à la propriété privée de la terre au profit de ceux qui n'en bénéficiaient pas. Ces questions restent contemporaines et sont portées par des philosophes, des penseurs

67 « Chaining data feeds », Chainlink, Chainlink website, retrieved May 10, 2022, data.chain.link/

68 International Association for Trusted Blockchain Applications: <https://inatba.org>

69 « Climate Action and Governance with Climate Ledger Initiative », INATBA, June 1, 2021, <https://inatba.org/reports/climate-action-governance-challenge/>

70 Etherisc onboarded 17K Kenyan farmers covered by blockchain-based crop insurance, Turner Wright, cointelegraph.com Jul 21, 2021, <https://cointelegraph.com/news/etherisc-onboards-17k-kenyan-farmers-covered-by-blockchain-based-crop-insurance>

71 *Ibid.*

72 « Revenu de Base », Novethic, consulté le 10 mai 2022, <https://www.novethic.fr/lexique/detail/revenu-de-base.html>

mais aussi des institutions, des syndicats, des Organisations internationales, des associations, indépendamment de la couleur politique de chacun.

Plusieurs initiatives blockchain cherchent ainsi à mettre en œuvre des formes de revenu universel ou revenu de base, parmi lesquelles **Circles** (2015) portée par la Trustlines Foundation, **GoodDollar** (2017), **Baza Foundation** (2018), **Idena** (2019) ou encore **ImpactMarket** (2020), dans des formes différentes. Par exemple, Baza Foundation se présente comme « *une plateforme numérique construite avec l'objectif de réimaginer une organisation à but non lucratif en adaptant les principes du revenu de base, des contrats intelligents et de la technologie du ledger sécurisé⁷³* ». Circles, porté par Trustlines Network⁷⁴ explique être « *une monnaie alternative qui permet à des groupes organisés de personnes de s'assurer mutuellement un revenu de base, plutôt que de dépendre de l'État⁷⁵* ».

Impact Market, quant à lui, se définit comme « *un protocole décentralisé de lutte contre la pauvreté qui permet la création et la distribution d'un revenu de base inconditionnel entre les communautés et leurs bénéficiaires, en fonction de leurs besoins* ». Impact Market se présente comme un protocole décentralisé de réduction de la pauvreté. C'est une

Organisation autonome décentralisée (DAO*) utilisant un token appelé \$PACT. Le protocole utilise le cUSD de Celo (voir *supra*) comme principale monnaie numérique, tout en fonctionnant de manière automatique par le biais de *smart contracts**.

Depuis la mise en place d'Impact Market, 236 communautés réparties dans 44 pays dans le monde, parmi lesquels le Brésil, le Venezuela, le Kenya, le Ghana, l'Inde, le Nigéria, le Cap Vert reçoivent une forme de revenus mensuels financés par des dons et gérés localement par « *des dirigeants communautaires et des organisations sociales, gouvernementales ou locales, qui définissent les paramètres initiaux et ajoutent/suppriment les bénéficiaires⁷⁶*

. Chaque communauté reçoit une allocation quotidienne par bénéficiaire, entre l'équivalent de 0,5 centimes de dollar à 1,5 dollars. Le Brésil, le Nigéria et le Vénézuéla comptent le nombre le plus important de bénéficiaires. En mai 2022, 5 233 donateurs ont versé 2 632 313 cUDS (Celo) répartis entre 43 810 bénéficiaires qui perçoivent en moyenne 0,55 \$ par jour pendant, en moyenne, 40 mois.

Impact Market fait interagir trois communautés au sein d'une Organisation autonome décentralisée* : (1) Des « gestionnaires de communauté », en charge de soumettre une communauté

73 « Baza Coin », Baza Foundation, Baza Foundation website, retrieved May 10 2022, <https://baza.foundation/>

74 « About Trustlines », Trustlines, Trustlines website, retrieved May 10 2022, <https://trustlines.network/>

75 « A basic income system for communities », Join Circles, Join Circles website, retrieved May 10, 2022, <https://joincircles.net/>

76 « Tableau de bord Impact Market », Impact Market, consulté le 10 mai 2022, <https://www.impactmarket.com/fr-FR/global-dashboard>

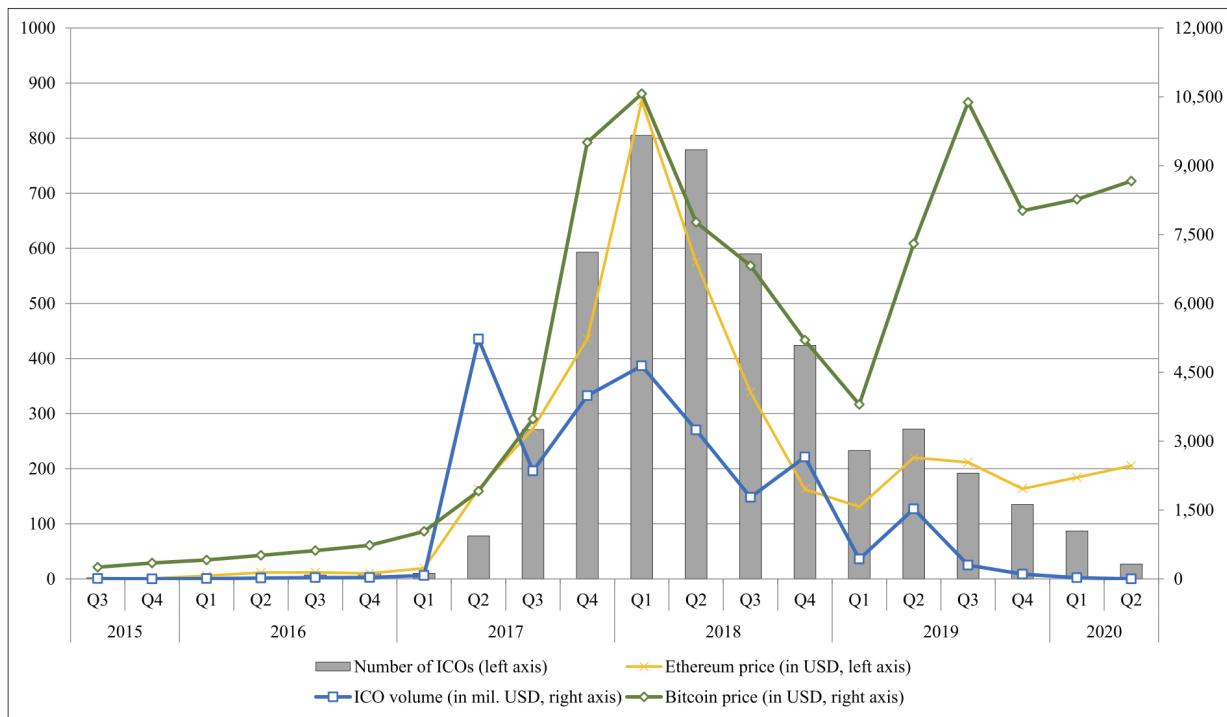


Fig. 1. Evolution of the number of ICOs, ICO volume, and Bitcoin price.

Source : Bellavitis, C., Fisch, C., & Wiklund, J. (2021). A comprehensive review of the global development of initial coin offerings (ICOs) and their regulation. Journal of Business Venturing Insights 15 (2021). doi:10.1016/j.jbvi.2020.e00213

pour approbation puis d'en gérer les bénéficiaires. Ce sont en général des institutions sociales locales qui ont un accès direct aux bénéficiaires finaux et s'adressent autant que possible à ceux qui en ont le plus besoin rapidement. Un gestionnaire de communauté postule en ligne, en fournissant un certain nombre d'informations ainsi que les détails d'un contrat de revenu de base pour les bénéficiaires. Une fois accepté comme gestionnaire de communauté, la ou les personnes pourront ajouter des bénéficiaires qui pourront alors réclamer une aide correspondant aux fonds à disposition. Deux applications mobiles, interconnectées, sont nécessaires, l'application Valora, un portefeuille

mobile de crypto-actifs compatibles avec les DApps* construites sur la blockchain Celo, et l'application impactMarket, permettant de gérer la communauté. (2) Des bénéficiaires, les personnes qui auront accès à un revenu de base. Ils devront être équipés d'un smartphone et télécharger les deux applications Valora et ImpactMarket. (3) Les donateurs, ceux qui font un don pour soutenir le projet. Lorsque les donateurs font un don à l'Organisation autonome décentralisée (DAO*) en cUSD, ils deviennent éligibles à recevoir des tokens \$PACT comme récompense. Les donateurs peuvent également choisir d'aider spécifiquement une communauté, visible sur l'application Valora⁷⁷.

77 « If you can text, you can crypto », Valora, Valora website, retrieved May 10, 2022, <https://valoraapp.com/fr>

Outre le cUSD, les donateurs peuvent effectuer un don en monnaie fiat, en Bitcoin, en Ether ou encore *via* Paypal en utilisant eSolidar, mais ils ne recevront pas de token \$PACT en récompense. Une quatrième communauté peut également participer à l'écosystème, les marchands locaux, qui peuvent accepter les cUSD, afin que les bénéficiaires se fournissent en nourriture, en électricité, en eau et autres produits ou services de la vie courante. Impact Market utilise le Celo Dollar, (cUSD), un crypto-actif stable* indexé sur le dollar américain déployé par Celo dont les frais de transactions sont généralement autour de 0,001 USD par transaction.



Impact Market community

Source : Impact Market, retrieved May 10 2022,
[https://docs.impactmarket.com/communities/
 how-to-apply-a-community](https://docs.impactmarket.com/communities/how-to-apply-a-community)

L'écosystème est décentralisé parce que les donateurs choisissent vers qui s'adressent leurs fonds, et que ce sont des *smart contracts** qui se chargent de les répartir selon les termes du contrat de revenu universel de la communauté visée. Au niveau local, les gestionnaires de communautés ne manipulent pas de fonds mais ouvrent et ferment les comptes de bénéficiaires qui reçoivent directement l'aide dans leur portefeuille de crypto-actif. Le protocole d'ImpactMarket, *open source*⁷⁸, est régi par les détenteurs de jetons \$PACT qui votent sur des propositions. La DAO* est constituée de trois *smart contracts**, à travers lesquels tout ce qui se passe sur le protocole passe par le vote de « propositions » qui concernent toutes les décisions prises par la communauté, comme, par exemple, la mise à jour d'un contrat pour l'allocation de fonds provenant de la trésorerie, la création ou la fermeture de communautés etc.

Il est également possible pour une organisation humanitaire ou une organisation internationale d'utiliser ImpactMarket en finançant le fonds du montant de l'aide apportée, afin de gérer sur le terrain les bénéficiaires du programme.

78 Impact Market Github: <https://github.com/ImpactMarket/impact-market-smart-contracts>



Good Dollar ou le « Staking for Good »⁷⁹

Good Dollar est une ONG créée par Yoni Assia, CEO d'eToro, une société de trading multidevises fondée en 2007 en Israël. Après avoir publié, en novembre 2008, un essai intitulé « Good Dollar – The Visible Hand »⁸⁰ présentant le concept, c'est en 2018 que le projet est lancé. Good Dollar est un outil en ligne pour distribuer un revenu de base universel dans un crypto-actif appelé G\$, qui s'appuie sur les protocoles de la Finance décentralisée (DeFi) de la blockchain Ethereum et sur la *sidechain** Fuse.io. Le code informatique, *open source*, réunit trois communautés : (1) Les financeurs : Plutôt que d'abonder directement aux fonds Good Dollar, les financeurs déposent des DAI (MakerDAO) ou Ether (Ethereum) dans des protocoles de staking* ou des mécanismes tiers *via* le GoodDollar Trust et, plutôt que percevoir les intérêts de cette immobilisation, ces derniers sont versés dans la trésorerie de Good Dollar. (2) Les bénéficiaires de l'UBI : Le caractère universel de Good Dollar n'impose comme condition pour recevoir des token Good Dollar que celle de s'inscrire, télécharger un portefeuille* (*wallet*) et réclamer (*claim*) de manière quotidienne les Good Dollar générés par les opérations de staking* des financeurs.

Chaque jour les Good Dollar sont répartis entre tous les bénéficiaires les ayant réclamés.

En mai 2022, 2,4 millions de Good Dollar étaient distribués quotidiennement, soit l'équivalent de 454 US \$. (3) Enfin, les marchands sont les commerçants qui acceptent d'être payés en Good Dollar, qui peuvent être convertis dans d'autres crypto-actifs parmi lesquels l'Ether ou le DAI. Selon les données présentées⁸¹ par Good Dollar, 542 millions de G\$ ont été versés à 427 549 personnes depuis la création du projet, soit l'équivalent de 90 651 \$. En mai 2022, 1 G \$ = 0,00018 \$. En avril 2021, les pays où la demande de G\$ a été la plus forte sont le Nigéria, le Vietnam, le Brésil, l'Inde et l'Indonésie.

Financement participatif

Le financement participatif, à ne pas confondre avec une *initial coin offering* (ICO*), est une opération qui consiste en la levée de fonds *via* l'émission d'actifs numériques échangeables contre des crypto actifs, lors de la phase de démarrage du projet. L'intérêt de ce processus de levée de fonds est d'être accessible à quiconque possède des crypto-actifs, sans qu'un établissement financier ou un régulateur n'intervienne.

Des projets blockchains renouvellent le caractère centralisé des plateformes de financement participatif traditionnelles, parmi lesquels **eSolidar**, **ImpactMarket**, **Suretly**, **Topl**, **IcrowdU** ou encore **Raise** ou **WeiFund**.

79 « The GoodDollar Basic Income Economy », Gooodollar.org, retrieved May 17, 2022, <https://whitepaper.gooodollar.org/the-gooddollar-basic-income-economy#staking-for-good>

80 « Good Dollar – The Visible Hand », Yoni Assia, November 28, 2008, retrieved May 17, 2022, <https://yoniassia.com/good-dollar-the-visible-hand/>

81 Good dollar Dashboard, retrieved May 17, 2022, <https://dashboard.gooodollar.org/>

Par exemple, la *startup Raise* créée à Nairobi au Kenya en 2017 développe, selon son fondateur Marvin Coleby, une plateforme qui « prépare les startups à lever des fonds grâce à un tableau de capitalisation automatisé, des certificats d'actions électroniques et une évaluation de l'entreprise et de la technologie ». Parmi les différents services que proposent la plateforme figurent notamment la possibilité pour les actionnaires de consulter facilement et de manière sécurisée les données liées à leurs investissements. Les bénéficiaires des fonds peuvent également émettre des actions numériques (*digital share*) et des certificats convertibles (*convertible certificates*) afin de réduire les procédures administratives et les coûts opérationnels des levées de fonds traditionnelles⁸². Raise propose une plateforme qui automatise les aspects financiers et réglementaires des levées de fonds aidant les *startups* de l'écosystème africain.

Autre projet, **WeiFund**, créé à Toronto en 2015. C'est une plateforme de *crowdfunding* à but non lucratif, décentralisée et *open source*, construite sur Ethereum. WeiFund permet de transformer les contributions en actifs numériques garantis par contrat, tels que des actions ou des jetons, qui peuvent être utilisés, échangés ou vendus dans l'écosystème Ethereum.

⁸² « How Raise works to help prepare your startup for investment », Marvin Coleby (CEO), Intercom website, retrieved 10 May, 2022, <https://intercom.help/raise/en/articles/3665904-what-is-raise>

⁸³ « Crypto crowdfunding platform launches DEX for project-specific tokens », Connor Sephton, Cointelegraph website, May 24, 2021, <https://cointelegraph.com/news/crypto-crowdfunding-platform-launches-dex-for-project-specific-tokens>

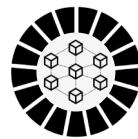
⁸⁴ Tecra: <https://tecre.space/>

⁸⁵ Tecra Space Warsaw », Krzysztof Bochenek, PO Poland, January 20, 2021, <https://www.24-7pressrelease.com/tecre-space-warsaw-launches-decentralized-exchange-for-project-specific-tokens/>

Co-financé par l'Union européenne à travers le programme Smart Growth et par le Centre national de recherche et de développement de Pologne, **Tecra** développe depuis 2018 une plateforme décentralisée de *crowdfunding*, **Tecra Space**, soutenue par une crypto-devise, le **TecraCoin (TCR)**, actuellement échangeable sur la bourse d'échange centralisée Hotbit et la bourse d'échange décentralisée Uniswap (DEX*), avant que soit développé leur propre bourse d'échanges décentralisée, **Tecra DEX**⁸³.

Selon l'entreprise, Tecra « offre aux scientifiques et aux innovateurs un moyen facile de lever des fonds grâce au crowdfunding, de bénéficier de la sécurité des brevets et de frais réduits, ainsi que de remboursements rapides après la réalisation des bénéfices du projet⁸⁴ ».

Chaque projet lancé via la plateforme de *crowdfunding* sera assorti de son propre token, qui pourra être acheté avec des Ether, le crypto-actif stable* Tether, des TecraCoin, mais également par carte de crédit, PayPal ou virement bancaire. L'investissement minimum est de un TCR, soit entre 50 centimes (cours au 1^{er} janvier 2021) et deux dollars (cours au 7 juillet 2021). D'un point de vue technique, le TecraCoin est un jeton ERC-20 enregistré sur une blockchain publique avec permission basée sur Ethereum⁸⁵.



Le TecraCoin un crypto-actif déflationniste dont le nombre de jetons pré-minés sera progressivement réduit (*burnt* - brûlé) par les nœuds de validation. Tecra a remporté le Startup Grand Slam au World Blockchain Summit de Taipei en 2019, et a également été finaliste de la Singularity University pour le prix des dix meilleures *startups* d'Europe de l'Est, décerné sur le Campus Google à Varsovie.

En décembre 2021, douze ans après sa création Kickstarter a annoncé vouloir basculer leur plateforme de financement participatif centralisée vers un nouveau modèle, cette fois-ci décentralisé, et qui s'appuiera sur la blockchain Celo (voir *supra*). Selon son fondateur Perry Chen, « *dans les années à venir, nous pensons que de larges pans de l'internet seront entièrement reconstruits par des réseaux ouverts et décentralisés de contributeurs, qui participent à la conception, au fonctionnement, à la gouvernance et même à la propriété de la technologie elle-même*⁸⁶ ».

Finance inclusive

Si la finance inclusive existe, c'est bien que la finance, dans sa forme classique, exclut. Celle traditionnelle, reposant sur les banques et les institutions financières. La finance, dite inclusive, naît entre les années 1970 et 1980 avec le microcrédit moderne développé par l'économiste bengladais Muhammad Yunus,

qui recevra le prix Nobel de la paix en 2006. Elle se développe depuis en tentant d'adapter les réglementations du système financier traditionnel à la microfinance, au financement participatif, à la banque sur téléphone portable etc. à destination des personnes les plus défavorisées, exclues du système bancaire.

Hiveonline lancé en 2016 à partir du Danemark, **Waba**, créé en Argentine depuis 2017 ou encore **Ethic Hub**, créé en 2019 en Espagne sont quelques-unes de ces initiatives. Par exemple, **Ethic Hub**, créé en 2019 en Espagne, est une entreprise sociale qui met en relation des investisseurs avec de petits agriculteurs afin qu'ils puissent mener à bien leurs récoltes, notamment de café, et les vendre sur des marchés sans intermédiaire pour que 50% des profits leur reviennent directement⁸⁷. EthicHub s'adresse particulièrement aux agriculteurs non bancarisés habitant le Mexique. L'équipe a développé une plateforme pair-à-pair de financement (*crowdlending*) où de nombreux petits investisseurs, 20 euros minimum, financent les activités agricoles de petites communautés agricoles tout en recevant des intérêts sur les prêts.

En 2020, EthicHub a décidé⁸⁸ de migrer ses opérations de la blockchain **Ethereum** vers **xDai Chain**, une *sidechain** ou Layer 2 basée sur Ethereum qui utilise un mécanisme de consensus basé sur la

[com/press-release/478789/europe-is-gearing-up-for-the-blockchain-revolution-altcoins-on-the-rise](https://www.blockchain.com/press-release/478789/europe-is-gearing-up-for-the-blockchain-revolution-altcoins-on-the-rise)

86 « The Future of Crowdfunding Creative Projects », Perry Chen & Aziz Hasan, Kickstarter website, December 9, 2021, <https://www.kickstarter.com/articles/the-future-of-crowdfunding-creative-projects>

87 « Specialty Coffee » EthicHub, retrieved May 10, 2022, <https://shop.ethichub.com/en>

88 « Why did we start using xDai in EthicHub ? », Equipo EthicHub, EthicHub website, retrieved May 10, 2022, <https://help.ethichub.com/hc/en-us/articles/360013429458-Why-did-we-start-using-xDai-in-EthicHub->

preuve de participation* (Proof-of-Stake). Lancé depuis fin 2018, xDai Chain utilise le crypto-actif stable*, xDai, comme crypto-devise native. EthicHub résout ainsi plusieurs problèmes dont notamment celui de la rapidité d'exécution et surtout le coût des transactions. Depuis son lancement en 2019, EthicHub a reçu plus de 7 000 micro investissements, distribués à 240 agriculteurs répartis dans 17 communautés, impactant indirectement près d'un millier de familles⁸⁹.

Hiveonline se décrit comme une entreprise donnant accès au crédit et aux marchés à de petits exploitants exclus financièrement et à leurs écosystèmes locaux. L'une des plateformes de Hiveonline repose sur « *une blockchain permettant de distribuer des bons (vouchers) de manière sécurisée et une crypto-devise stable* afin de fournir de l'argent numérique en monnaie locale avec des enregistrements sûrs et immuables* ». L'entreprise aime à dire faire de « la finance numérique durable sans téléphone ». (Voir projet exemplaire en fin de chapitre).

Investissement d'impact

L'investissement à impact social est défini comme « *un investissement qui allie explicitement retour social et retour financier sur investissement*⁹⁰ ». Il s'agit de proposer à des investisseurs, qu'ils soient particuliers ou entreprises, de financer des projets aux impacts sociaux ou environnementaux positifs. Parce que l'usage d'une blockchain permet

de se passer des intermédiaires entre un investisseur et son bénéficiaire, de nombreuses initiatives reposant sur une blockchain ont émergé, dont notamment la plateforme **Sun Exchange**.

Fondée en Afrique du Sud en novembre 2015 par Abe Cambridge, la plateforme **Sun Exchange**, (dont nous parlons également dans le chapitre « Energie »), souhaite démocratiser le **financement des énergies renouvelables par le crowdfunding**. C'est une place de marché de micro-bail qui met en relation des investisseurs, particuliers et entreprises, avec les bénéficiaires d'installations solaires dans les zones rurales d'Afrique du Sud, avec la promesse d'un rendement de 10 % sur un contrat de 20 ans. La plateforme utilise la blockchain Bitcoin pour les paiements transfrontaliers afin qu'il n'y ait aucun intermédiaire entre les bénéficiaires de l'installation, qui paient leur électricité, et les investisseurs qui ont participé à l'achat des panneaux solaires. Suite à une première campagne de financement participatif entre janvier et novembre 2015, l'entreprise a construit une première centrale solaire dans une école de la région du Cap. Trois ans plus tard, la plateforme comptait 6 000 investisseurs enregistrés et a construit sept centrales solaires. En 2022, plus de 40 centrales solaires, pour une capacité électrique totale de 5,2 GWh d'énergie propre ont été créées, grâce à l'investissement de particuliers et d'entreprises répartis dans 180 pays dans le monde. Les bénéficiaires

89 « Inversión de Impacto Protegida », EthicHub, retrieved May 10, 2022, <https://www.ethichub.com/>

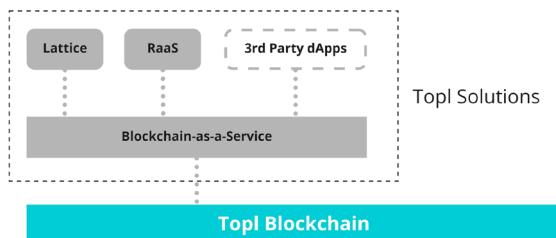
90 Comité français sur l'investissement à impact social.



des installations photovoltaïques sont principalement des écoles, des maisons de retraite, des petites et moyennes entreprises, des parcs naturels et des associations à but non lucratif qui, dorénavant, paient leur électricité 20 à 30 % moins cher. Les économies réalisées servent notamment à fournir une éducation de qualité aux enfants, des environnements de vie positifs aux résidents âgés et des soins aux animaux sauvages vulnérables.

Verification d'impact

Topl, Ixo Foundation ou encore Proof of Impact sont quelques-unes de ces initiatives ayant pour objectif de « tokeniser » l'impact de l'activité des organisations. **Topl**, créé à Houston aux Etats-Unis en 2017 se présente comme « *entreprise technologique ESG qui construit une blockchain pour aider les entreprises à prouver les pratiques éthiques et durables* ». C'est tout un écosystème que souhaite développer l'entreprise, notamment à travers deux tokens, un premier de gouvernance ainsi qu'un crypto-actif stable*, et dont toutes les briques seront développées d'ici à la fin de l'année 2022.



Topl projette de lancer une blockchain publique, *open source*, dont le mécanisme

de consensus sera basé sur la preuve d'enjeu*.

Ixo Foundation a aussi été créé en 2017, à Zug en Suisse. La Fondation IXO développe le protocole du même nom sur la blockchain publique **Cosmos**. L'objectif du protocole IXO est d'enregistrer des « faits vérifiables » dans une blockchain publique, notamment des données liées à l'environnement, l'économie et les impacts climatiques. Il s'agit d'adoindre à la finance décentralisée des mécanismes de durabilité, *Sustainable DeFi*, déterminés par des changements d'état extrinsèques du monde réel : un certificat d'énergie renouvelable, un certificat de crédit carbone et d'autres « faits vérifiables », notamment grâce au fait que « *les changements d'états du monde réel peuvent désormais être contrôlés, vérifiés et attribués de manière fiable à des agents, entités, événements et investissements identifiés*⁹¹ » explique le site web d'Ixo Foundation.

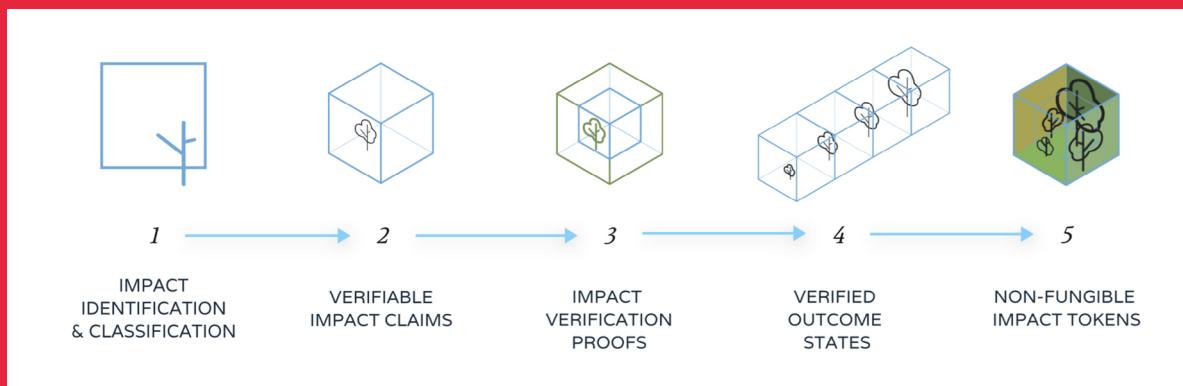
IXO est construit sur la blockchain publique Cosmos, dont l'ambition est de devenir « l'internet des blockchains » en offrant une interopérabilité sécurisée entre les services de différentes blockchains publiques. En s'appuyant sur l'écosystème propre à la blockchain Cosmos, IXO peut interagir avec n'importe quelle autre blockchain sur Cosmos mais également utiliser des ponts vers les autres écosystèmes dont notamment les blockchains publiques Ethereum, Cardano ou encore Polkadot. L'activité d'IXO a débuté en 2015, tout d'abord au sein du TrustLab basé en Afrique du Sud, financé par les fonds

91 Ixo Foundation: <https://www.ixo.world/protocols>



La tokenisation d'impact selon IXO Foundation

Source : <https://www.ixo.world/protocols> - Traduction : Blockchain for Good



1. Identification de l'impact

Les observations sur l'état du monde sont identifiées à l'aide d'identifiants décentralisés (DID)* et classées en fonction du contexte sémantique à l'aide de schémas de données liées.

2. Réclamations d'impact

Des déclarations d'impact vérifiables sont émises et signées cryptographiquement par des agents identifiés et authentifiés. L'utilisation d'applications clientes, telles que le portefeuille d'impact mobile ixo, permet de capturer les données de réclamation au niveau de la mise en œuvre des processus du monde réel qui créent et observent le changement.

3. Vérification de l'impact

Les déclarations d'impact, avec leurs données certifiées comme preuve, sont évaluées par des agents vérificateurs indépendants et certifiés.

Les vérificateurs utilisent des rubriques d'évaluation et des méthodes statistiques standardisées pour déterminer si chaque déclaration peut être approuvée. Ils délivrent des preuves de vérification qui attestent que les déclarations remplissent les conditions requises pour être approuvées.

4. Crédibilité de l'impact

Les collections d'allégations vérifiables au fil du temps, ainsi que leurs preuves de vérification et des informations supplémentaires - telles que les références vérifiables d'un exécutant de projet, sont combinées pour émettre une accréditation vérifiable pour un état d'incidences. Ce qui inclut un graphe des déclarations, des preuves et des références.

5. Tokenisation d'impact

Les jetons d'impact sont frappés avec des graphes d'actifs de données en tant que ressources liées, qui peuvent être récupérées par des utilisateurs autorisés à partir de points de service spécifiés - tels que les magasins de données confidentielles ixo Cellnode, d'une manière autorisée, en utilisant des capacités d'autorisation (zCaps). Les jetons d'impact non fongibles peuvent être configurés dans des mécanismes de financement basés sur les résultats, tels que les Alphabonds, échangés en tant qu'actifs numériques, ou utilisés pour créer de nouveaux types de régimes de propriété et de mécanismes de participation centrés sur les parties prenantes.



d'innovation de l'UNICEF, ainsi qu'un autre fond d'impact, appelé Innovation Edge⁹² pour développer un premier projet, Amply.

Amply⁹³, mené avec l'UNICEF et le gouvernement d'Afrique du Sud a consisté à numériser la gestion d'un programme d'éducation d'Afrique du Sud en enregistrant sur la blockchain Ethereum la fréquentation à l'école maternelle d'enfants défavorisés et en émettant des tokens comme preuve d'impact en échange de subventions gouvernementales. En effet, le gouvernement sud-africain avait mis en place un programme de subvention de 200 millions de dollars à destination de 800 000 enfants défavorisés. Or pour accéder à ces aides, les enseignants devaient faire état de la présence ou non de chacun, à l'aide de cahiers au format papier, puis les présenter tous les trimestres à des administrateurs du ministère du développement social qui s'occupaient ensuite de débloquer les subventions école par école.

Avec Amply, chaque enfant s'est vu attribuer une identité numérique décentralisée afin que les enseignants enregistrent leur présence en générant une attestation vérifiable* (Voir Chapitre Identité et Propriété). Les attestations vérifiables ainsi que des métadonnées associées (lieu, date, heure de la collecte) étaient ensuite vérifiées

par les administrateurs du ministère du développement social, générant, par le biais d'un *smart contract**, un token d'impact dont l'école se servait ensuite pour obtenir la subvention prévue par le gouvernement.

Selon l'International Institute for Sustainable Development, « *des applications comme Amply peuvent réduire la fraude et les coûts associés à ces programmes tout en donnant aux prestataires de services et aux bailleurs de fonds un aperçu précieux et la preuve que leur argent est bien dépensé. Les données sont accessibles sur la blockchain par n'importe qui, et elles permettent aux gouvernements, aux chercheurs, aux donateurs et aux ONG de prendre des décisions plus éclairées sur leur travail afin d'en optimiser l'impact* »⁹⁴.

Ce projet pilote s'est ensuite transformé en un contrat plus important en Inde, pour réitérer l'expérience à travers le « Quality Education India DIB », lancé en 2018 à l'Assemblée générale des Nations Unies à New York avec le gouvernement indien à Delhi.

Protéiforme et même complexe à appréhender, la plateforme IXO propose « *une norme ouverte pour produire des déclarations vérifiables* sur les changements de l'état du monde*⁹⁵ ». Chaque token d'impact représente un « état de résultat

92 Innovation Edge, retrieved May 17, 2022, <https://innovationedge.org.za/>

93 « Impact Tokens: A blockchain-based solution for impact investing », David Uzsoki, Patrick Guerda, International Institute for Sustainable Development | IISD.org, <https://www.iisd.org/system/files/publications/impact-tokens.pdf>

94 « Impact Tokens: A blockchain-based solution for impact investing », David Uzsoki, Patrick Guerda, International Institute for Sustainable Development | IISD.org, <https://www.iisd.org/system/files/publications/impact-tokens.pdf>

95 IXO Foundation White Paper, retrieved May 20, 2022, <https://www.ixo.world/white-paper>

vérifié », sous la forme d'un jeton non fongible* (NFT), qui est soutenu par des actifs de données d'impact et des preuves de vérification, avec des droits exécutables intégrés.

Pour la Fondation, les jetons d'impact seront amenés à remplacer tous les instruments négociables comme « *les certificats de réduction d'émissions vérifiés pour les crédits carbone, les certificats d'énergie renouvelable pour les énergies propres, les certificats de qualification pour les résultats éducatifs, les certificats de biodiversité pour les résultats en matière de nature, les certificats de vaccination pour les résultats en matière de santé ou tout autre état de résultat vérifié auquel les gens tiennent, pour lequel ils sont prêts à investir, à travailler ou à dépenser leur argent*⁹⁶ ».

Les données permettant de prouver « l'évolution d'un état » dans le monde réel proviennent de sources variées, parmi lesquelles des capteurs de l'Internet des objets (IoT), les enquêtes d'un utilisateur authentifié, de l'imagerie satellitaire ou les données collectées à partir des appareils connectés des participants à un projet. Les données doivent remplir des « preuves d'impact » prédéterminées afin que les prestataires de services puissent prétendre avoir réussi et que les investisseurs puissent recevoir leurs retours financiers.

En plus d'utiliser ces données pour vérifier l'état final d'un projet, ces données alimentent en continu un marché de prédiction interne entre les parties prenantes du projet, qui ajuste dynamiquement les paramètres, tels que les paiements d'intérêts liés à la possession du jeton d'impact. Appelé alphabond, ce mécanisme vise à accroître la sophistication du jeton d'impact en tant qu'instrument financier.

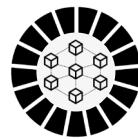
Le protocole IXO permet en outre de monétiser les données générées par le token d'impact, en tirant parti des marchés de données basés sur la blockchain, comme celui que propose le **protocole Ocean**. Le protocole Ocean⁹⁷, fondé par Bruce Pon du MIT en 2017 et aujourd'hui basé à Singapour, est associé au Forum économique mondial et au Media Lab du MIT. Ocean Protocol, par le biais de jetons ERC-20, est un écosystème permettant à n'importe quelle organisation de partager des données, tout en gardant le contrôle et la propriété sur ces dernières, notamment grâce à des algorithmes d'intelligence artificielle reposant sur l'apprentissage fédéré⁹⁸.

Ces jeux de données sont disponibles sur l'Ocean Market, où ils peuvent être achetés puis consommés ou vendus. Via l'Ocean Protocol, chaque service de données est représenté par un token de données (*data token*) unique, utilisé pour « envelopper »

96 Ibid.

97 Ocean Protocol: <https://oceanprotocol.com/>

98 « Plutôt que de centraliser les données pour y entraîner un algorithme central, l'apprentissage fédéré consiste à entraîner un algorithme sur la machine des utilisateurs d'une application et à partager ensuite les



un jeu de données ou un service « *compute-to-data* » (service permettant d'exécuter des calculs sur ses données) — qui permettent à des tiers d'effectuer des opérations sur ces données sans qu'elles aient à quitter l'enclave sécurisée de l'éditeur⁹⁹.

Le protocole Ocean tout comme le protocole IXO amorcent cette nouvelle économie de la donnée dont l'accès, les échanges et la monétisation sont basés sur des protocoles blockchains.

Tout comme le projet **Proof of Impact**. Créé en 2019 à Amsterdam aux Pays, Proof of impact a son siège social à San Francisco aux Etats-Unis. Fleur Heyns, co-fondatrice de la *startup* explique en ces termes la problématique à laquelle l'entreprise son entreprise souhaite répondre : « *comment les entreprises rendent-elles compte de l'impact qu'elles ont ? Comment les consommateurs peuvent-ils discerner les entreprises qui ont un impact positif sur l'environnement de celles qui se contentent de prétendre avoir un impact, dans le cadre d'une tendance insidieuse et omniprésente*

de "lavage d'impact" ? Comment les investisseurs peuvent-ils comparer une entreprise avec une autre lorsqu'il s'agit d'évaluer leur valeur à travers une lentille holistique ?¹⁰⁰ ».

La proposition de valeur de Proof of impact est ainsi de capter à la source des données à partir d'un référentiel de mesures d'impact auprès des entreprises via la plateforme Proof of Impact. « *Lorsque ces données sont poussées vers Proof of Impact, chaque unité de sortie est automatiquement vérifiée, à l'aide de techniques algorithmiques permettant de s'assurer que les données sont uniques et non anormales. Une fois que les données soumises sont vérifiées, elles sont inscrites dans la blockchain utilisée par Proof of Impact, représentant un «jeton d'impact» qui est sécurisé, immuable et vérifiable* ». L'entreprise prévoit, à terme, d'interfacer leur plateforme propriétaire avec la blockchain Ethereum et une blockchain de deuxième niveau.

apprentissages ainsi réalisés » in « Apprentissage fédéré : une nouvelle approche de l'apprentissage machine », Yann Bocchi, 11 août 2021, <https://blogs.letemps.ch/yann-bocchi/2021/08/11/apprentissage-federe-une-nouvelle-approche-de-lapprentissage-machine/>

99 Ocean Protocol: <https://coinmarketcap.com/fr/currencies/ocean-protocol/>

100 « Abbreviated White Paper — Proof of Impact », Fleur Heyns, January 26, 2021 <https://medium.com/proofofimpact/abbreviated-white-paper-proof-of-impact-89096c307204>



Hiveonline a été créé en 2016 à Copenhague au Danemark par Sofie Blakstad pour se concentrer, dès 2019, sur les marchés ruraux africains. Hiveonline « *collecte des actifs numériques tels que des contrats, des paiements, des photographies, des certificats et des garanties, puis les enregistre dans une blockchain accessible à tous les participants au système* ».

L'entreprise, fortement impliquée auprès des ONG et Organisations internationales, dont notamment le Programme des Nations unies pour le développement (UNDP), le Fonds d'équipement des Nations unies (UNCDF), Save the Children ou encore Mercy Corps, a développé trois services complémentaires, tous adossés à des registres distribués afin de répondre au constat que « *partout, les petites entreprises rencontrent les mêmes problèmes pour établir la confiance, accéder au crédit et atteindre les marchés de manière efficace*¹ ».

Le premier service, concerne la dématérialisation de « l'assistance en espèces et sous forme de bons » (Cash and voucher assistance - CVA), largement utilisée par l'aide humanitaire puisqu'elle représente, en 2019,

5,6 milliards de dollars, deux fois plus qu'en 2016, soit 17,9 % de l'aide humanitaire totale². Malgré cette rapide expansion, l'assistance en espèces et sous forme de bons se heurte à un certain nombre de problèmes dont notamment le coût de leur mise en œuvre dès lors qu'il s'agit de distribuer des cartes physiques ou des bons en papier et dès qu'un partenaire financier traditionnel est impliqué (banque internationale, banque locale, opérateur de télécommunication), qui prélève d'importantes commissions à chaque mouvement d'argent.

De plus, il est complexe de savoir qui bénéficie réellement de l'assistance. Sur le terrain, **Hiveonline** explique également « *que de nombreux détaillants n'acceptent pas les bons, car ils ne peuvent pas être certains du remboursement* ». Le système proposé par **Hiveonline** permet de dématérialiser l'assistance en espèces et sous forme de bons qui prennent la forme de token générés via la blockchain de Hiveonline, ce qui permet de considérablement réduire le temps de distribution et les coûts de transaction tout en améliorant le suivi, l'évaluation et l'auditabilité du programme d'aide.

Le deuxième service déployé par Hiveonline, **vsla.online**, concerne « *l'accès au crédit, à l'assurance et à l'épargne à un prix abordable pour les communautés de l'économie*

1 « Sustainable Digital Finance for the next billion », Hivenetwork, Hivenetwork website, retrieved May 10 2022, <https://www.hivenetwork.online/>

2 « The State of the World's Cash 2020 », José Jodar, Anna Kondakhchyan, Ruth McCormack, Karen Peachey, Laura Phelps, Gaby Smith, CalpNetwork website, Jul 23 2020, calpnetwork.org.



informelle³ ». Selon Sofie Blakstad « au Niger, il y a plus de personnes, principalement des femmes, dans les réseaux d'épargne informels - 800 000 - que dans l'ensemble du système bancaire formel, qui n'en compte que 700 000⁴ ». L'utilisateur type de l'application Hiveonline au Niger est « une femme qui n'a fréquenté qu'une année d'école et ne sait ni lire ni écrire, qui n'a jamais utilisé de technologie, qui n'a pas accès à l'électricité ou à l'eau courante et qui fait vivre cinq à quinze membres de sa famille en vendant des produits localement⁵ ».

Le service apporté par Hiveonline consiste en la dématérialisation de programmes du type Village Savings and Loan Associations (VSLA), qui peuvent également exister sous d'autres formes comme les Savings and Internal Lending Communities (SILC) ou encore les tontines, associations regroupant des membres d'un clan, de familles, de voisins ou de particuliers, qui mettent en commun des biens ou des services au bénéfice de tout un chacun à tour de rôle⁶. Ces communautés, en utilisant les outils de Hiveonline, enregistrent l'ensemble de leurs transactions, simplifiant la tenue des dossiers, la sécurité des opérations et garantissant l'identité de chacun des membres.

3 « A digital solution for savings groups: vsla.online », Hive Network, <https://www.hivenetwork.online/rethinking-vsla-community-finance/>

4 *Ibid.*

5 *Ibid.*

6 Définition du philosophe et sociologue Zygmunt Bouman.

7 « Building Credit History through Financial Reputation », Hivenetwork, Hivenetwork website, retrieved May 10, 2022, <https://www.hivenetwork.online/financialreputation/>

8 « Enhancing agricultural cooperatives and rural livelihoods: myCoop.online », retrieved May 13, 2022, <https://www.hivenetwork.online/agricultural-cooperatives/>

Ces communautés développent alors une forme de réputation financière : « Au fur et à mesure que ces transactions s'accumulent et sont enregistrées sur la blockchain de Hiveonline, les groupes d'épargne renforcent leur réputation et leur solvabilité en créant un registre numérique des engagements pris et tenus, y compris les prêts et les remboursements au niveau du groupe et des membres individuels⁷ ».

Cette réputation financière permet ensuite à ces communautés d'établir des liens avec des institutions financières de microfinance, plus enclines à prêter, la transparence réduisant le coût et le risque des prêts qu'ils octroient à ces entreprises informelles et ces groupes d'épargne, qui peuvent ainsi diversifier leurs moyens de subsistance et accroître leur accès aux crédits et financements.

Enfin, le troisième service déployé par Hiveonline, myCoop.online⁸, promeut le regroupement des agriculteurs sous la forme de coopératives afin de faciliter leur accès à des financements. Selon Sofie Blakstad, « les petits exploitants agricoles sont piégés dans une pauvreté générationnelle parce qu'ils ne peuvent pas accéder au crédit pour améliorer le rendement de leurs cultures. Les



marchés sont inefficaces et dominés par les intermédiaires. Pourtant, 70 % des terres arables d'Afrique ne sont toujours pas cultivées et le potentiel de croissance est énorme. Les entreprises agricoles sont confrontées à de nombreux défis, notamment les flux de trésorerie, la saisonnalité, la perte de bénéfices au profit des intermédiaires et les catastrophes naturelles⁹ ».

En plus de considérablement simplifier la gestion administrative et financière d'une coopérative agricole, le fonctionnement de myCoop.online est le suivant : **Hiveonline** crée d'abord une identité unique pour les agriculteurs de l'association ou de la coopérative (voir chapitre Identité & Propriété). Les agriculteurs publient ensuite des prévisions de récoltes, plantent puis assurent leur livraison, toutes les transactions étant enregistrées via le service myCoop.online. Un score de réputation est généré, à l'échelle individuelle et à celle de la coopérative, selon le respect ou non des engagements. Les institutions financières, les acheteurs et les organismes de soutien visualisent, à travers des tableaux de bord accessibles en ligne, « *les candidats aux prêts, à l'achat de récoltes et à la distribution d'intrants agricoles en fonction de leur historique de comportement fiable* ».

Un agriculteur pourra ensuite accéder plus facilement à des prêts, notamment pour l'achat d'intrants agricoles pour démarrer une nouvelle récolte.

Hiveonline s'est associé dès 2019 à l'Association mozambicaine pour la promotion des coopératives modernes (AMPCM) et à la *Royal Norwegian Society for Development* pour le développement d'une solution numérique pour les coopératives. Les premières expérimentations, menées pour apporter une aide aux petits agriculteurs travaillant pour l'industrie de la noix de cajou, se sont depuis développées à d'autres cultures au Mozambique, avec toujours ce même objectif de professionnaliser l'agriculture et d'améliorer les rendements des petits exploitants.

Les défis relevés par Hiveonline sont notamment « *l'absence d'antécédents en matière de crédit ou de réputation financière, afin de prouver aux prêteurs qu'ils sont fiables, l'inefficacité des marchés et la faible productivité due au manque d'accès à des intrants agricoles abordables¹⁰* ».

⁹ « Solve, an initiative of the Massachusetts Institute of Technology (MIT): [hiveonline, Sustainable digital finance without a phone](https://solve.mit.edu/challenges/digital-inclusion/solutions/48750) », retrieved May 13, 2022, <https://solve.mit.edu/challenges/digital-inclusion/solutions/48750>

¹⁰ Hive Network, Agricultural Cooperatives: <https://www.hivenetwork.online/agricultural-cooperatives/>



ENJEUX ET QUESTIONS

La diversité des enjeux et des questions soulevés par la perte du monopole des États sur la monnaie, ou tout du moins sur le transfert de valeur, révèle combien la société dans son ensemble amorce une transition entre un ancien modèle à bout de souffle et un nouveau modèle, encore en devenir.

Le déclencheur de cette transition coïncide avec l'invention du calculateur universel dans les années 1950, c'est à dire de l'informatique, puis du réseau internet dans les années 1970 et de ses services comme le web ou le mail, puis de leur intrication depuis moins de 15 ans dans une version contemporaine et décentralisée, à la manière dont la blockchain Ethereum se définit elle-même : « *un ordinateur mondial, que n'importe qui peut programmer et utiliser comme il le souhaite. Cet ordinateur est toujours allumé, il est très sécurisé, et tout ce qui est fait à l'aide de cet ordinateur est public*¹ ».

D'innombrables questions restent en suspens à propos de chaque usage et expérimentation qui se développent autour de ces blockchains et de leur *token*.

Envois de fonds transfrontaliers, paiements et micropaiement en pair-à-pair, finance dite décentralisée qui permet d'emprunter, épargner et investir sans établissement bancaire, monnaies locales complémentaires d'un nouveau genre, assurances paramétriques décentralisées, revenu universel, financement participatif, finance inclusive, vérification d'impact ou encore investissement d'impact, il semble que la diversité des initiatives donne à voir l'émergence d'un phénomène destiné à durer.

L'intérêt d'envoyer des fonds transfrontaliers de personne à personne en utilisant des crypto-actifs est indéniable : des transactions quasiment instantanées, des frais réduits, ainsi que l'assurance de posséder ses fonds. Se pose alors la question de savoir comment pourraient se développer des ponts entre l'économie réelle, qu'elle soit informelle ou officielle, dont les échanges s'appuieraient sur cette nouvelle forme d'argent programmable.

Puisque le propre d'une crypto-actif est d'être une monnaie électronique pair-à-pair, le premier frein à leur

¹ « Qu'est-ce qu'Ethereum ? », Simon Polrot, Ethereum France, 14 février 2016, consulté le 17 mai 2022. <https://www.ethereum-france.com/quest-ce-que-leethereum/>

adoption tient à la capacité de tout un chacun de s'en emparer : comment télécharger un portefeuille, comment initier une transaction, comment recevoir ou envoyer des fonds en pair-à-pair ? Les crypto-actifs servent-elles d'instrument pour échapper à la dévaluation d'une monnaie locale, ou de monnaie alternative, utilisable localement, parce qu'acceptée comme moyen de paiement, notamment en satoshi* ?

La Finance décentralisée est-elle réservée à ceux qui en ont les moyens mais n'ont pas accès aux marchés financiers, ou va-t-elle élargir son public ? Qu'en est-il des piratages informatiques ou de l'effondrement de crypto-actifs bancaires comme le Terra USD, dont le cours est passé de un dollar à quelques centimes en quelques heures en mai 2022, provoquant la disparition pure et simple des économies et investissements de nombreux petits porteurs, notamment au Pakistan, en Inde, en Argentine ou encore au Nigéria² ?

Les monnaies locales complémentaires, les monnaies d'inclusions financières ne sont-elles que l'occasion d'améliorer l'efficacité de ces outils monétaires, ou vont-elles devenir des outils de crypto surveillance, pour le meilleur comme pour le pire ?

A ces questions propres à chacun de ces usages s'en ajoutent d'autres, aux enjeux transverses, et concernent notamment l'impact énergétique des blockchains utilisées, leur capacité à monter en puissance au fur et à mesure de leur adoption, la sécurité des *smart contracts** et des applications décentralisées sans oublier l'incertitude légale et réglementaire que font peser les gardiens du système financier traditionnel sur ces monnaies électroniques pair-à-pair.

Nul ne sait encore la trajectoire exacte de ces projets blockchain, ni la manière dont ils rencontreront leur public, si ce n'est que leur taux d'adoption progresse constamment, notamment dans les pays à la marge du système financier traditionnel et dont les ressortissants sont exclus de la société, parce que sans compte bancaire ou sans identité.

2 « Le Krach a balayé les petits porteurs », Leo Schwartz et Abubakar Idris, *Rest of World* in *Courrier International*, n°1649 du 9 au 15 juin 2022.



SANTÉ

SANTÉ

Nombre de projets dans la base : 148

Nombre de projets actifs : 71

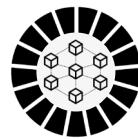
Nom des projets actifs : Aenco ; Amchart ; Astri ; Avyantra ; Betterpath ; BitMark ; BlockMedx ; Bowhead Health ; BurstIQ ; CareChain ; Change Healthcare ; Citizen Health - Citizen DAO ; ConsilX ; CoverUS ; dClinic ; Decent (healthcare) ; DNAfix ; Doc.ai ; Embleema ; EncrypGen ; Factom ; «FarmaTrust» ; Gainfy ; Genecoin ; Geneyx ; GenoBank ; Grapevine ; Guardtime & Estonia eHealth strategy ; Hashed Health ; Health Verity ; Health Wizz ; Healthcoin.nl ; HIE of One ; HIT Foundation ; Humanscape ; intiva ; Iryo ; iSolve ; Kidner ; KimboCare ; Longenesis ; lunaDNA ; Lynx ; MediBloc ; MedicalChain ; MediLedger ; Meditect ; Medrec ; Medvice ; «MedX Protocol» ; Modum ; Molecule ; MyHealthMyData ; Nano Health ; Nebula Genomics ; Open Health Network ; Patientory ; Peer Ledger ; PharmaTrace ; PointNurse ; PPPHealth4All ; Prescrypto ; Quanti Health ; Ribbon blockchain ; Shivom ; Sicpa - Covid pass ; SkyChain Global ; Spiritus ; Statwig ; Zenome ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à bonjour@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

Les industries de santé, qui regroupent les acteurs de l'industrie pharmaceutique, les biotechs, les medtechs ainsi que les acteurs de la santé publique et de la santé se sont emparés du numérique à travers six grands chantiers, que la Fondation de l'Avenir décrit ainsi¹ : « **Les systèmes d'information en santé** permettant une meilleure coordination des soins au sein d'un établissement de santé (Systèmes d'information Hospitalier ou SIH, Dossier Patient Informatisé ou DPI, etc.) ou d'un territoire de soins (Systèmes d'Information partagé de santé). **La télémédecine** offrant des possibilités

de soins à distance : la téléconsultation, la télédétection, la télésurveillance, la téléassistance, et la régulation médicale. **La télésanté** intégrant des services de suivi et de prévention des individus dans un objectif principal de bien-être (objets connectés, applications mobiles d'auto-mesure, plateforme web, ...). **Les dispositifs technologiques centrés patient ou grand public** : m-health ou m-santé (M pour Mobile) applications de santé mobiles, applications de santé web, objets connectés, réseaux sociaux (communautés de patients), portail d'information de santé, etc.

¹ Fondation de l'Avenir, Fondation pour la recherche médicale appliquée, reconnue d'utilité publique.



Les dispositifs technologiques centrés offreurs de soins tels les établissements de santé et les professionnels de santé : les SIH internes, systèmes d'information partagés, systèmes d'information embarqué (ex : SMUR), dispositifs de télémédecine, etc. **Les dispositifs technologiques centrés acteurs assurantiels, régulateurs publics et industriels** : outils génériques de la gestion de la relation client (CRM) ainsi que ceux du datamining (données internes) ou du big data (données externes) permettant la collecte, le stockage et le traitement algorithmique de données massives de santé ».

Cependant, l'écrasante majorité des systèmes d'information utilisés par l'ensemble de ces acteurs ne sont pas interopérables et les données des patients sont centralisées et répliquées au sein de chaque établissement, recopiées à nouveau dans chacun des systèmes d'information qui en demandent la transmission, et sont même parfois à nouveau rassemblées dans des méga plateformes comme le « Health Data Hub » en France, déployé en 2021², qui pose clairement des problèmes de souveraineté lorsque l'on sait que le prestataire d'hébergement est américain³. Or les données de santé

sont par nature à caractère personnel, et sont dites « **données sensibles** » parce qu'elles révèlent des informations liées à la santé d'une personne.

L'usage de registres distribués de type blockchain permettrait, selon leurs promoteurs, d'assurer une meilleure interaction des organisations de santé avec un ou des systèmes d'identités décentralisées plutôt que des données personnelles (voir Chapitre Identité et propriété), ce qui aurait pour conséquence **la réappropriation de ses données de santé par le patient**, à propos desquelles il décide du partage et surtout, l'assurance de la confidentialité de ses données de santé ou tout du moins l'assurance d'être celui qui autorise ou refuse l'utilisation de ses données personnelles par des tiers. (*Si les données des patients des hôpitaux n'étaient pas administrées en silo par chaque établissement, les rançongiciels et cyberattaques perdraient considérablement d'intérêt*).

L'usage de registres distribués permettrait également de considérablement améliorer **l'accès aux données de santé entre des parties prenantes disparates**, présentant parfois des intérêts contradictoires. La mise en place de tels registres permettrait en outre une réduction des coûts de soins de santé, par la rationalisation et l'optimisation des processus opérationnels, administratifs et financiers.

2 La totalité des données de santé des Français va bien être hébergée en France, mais par un opérateur américain, lequel en vertu du *Cloud Act* pourra être contraint par la justice américaine de transférer toutes ces informations personnelles aux États-Unis. « Le grand écart entre Gaia-X et le Health Data Hub », Jacques-André Fines Schlumberger, *La revue européenne des médias et du numérique* - N°54bis-55 Automne 2020, <https://la-rem.eu/2020/12/le-grand-ecart-entre-gaia-x-et-le-health-data-hub/>

3 « Le grand écart entre Gaia-X et le Health Data Hub », Jacques-André Fines Schlumberger *La revue européenne des médias et du numérique* - N°54bis-55 Automne 2020, <https://la-rem.eu/2020/12/le-grand-ecart-entre-gaia-x-et-le-health-data-hub/>

Les 148 initiatives blockchain que nous avons identifiées dans le domaine de la santé s'organisent ainsi autour de ces promesses, mais quelque dix ans après le lancement des premiers projets, force est de constater que beaucoup ont disparu, (77 projets sur 144 ne sont plus actifs), que d'autres n'ont de blockchain que le nom. Il ne subsiste, au final, que quelques cas d'usages parmi les 71 projets blockchain actifs référencés au sein de l'annuaire PositiveBlockchain.io.

Pour Anca Petre, fondatrice de 23 Consulting, « *les projets n'aboutissent pas car ils nécessitent de travailler en consortium. C'est le fondement même de la technologie, mais cela pose des questions de propriété intellectuelle, de modèle économique, de gouvernance, sans compter les questions réglementaires⁴* ». Les blockchains, dans le domaine de la santé, mettent en lumière que **les enjeux auxquels sont confrontées les organisations et les patients sont d'abord des enjeux politiques et de moins en moins des enjeux techniques**. Et Anca Petre de souligner « *la technologie n'est plus un sujet, elle est maîtrisée. Idem pour les cas d'usage.* »

Ce sont la gouvernance et la mise en œuvre qui posent problème aujourd'hui ». En janvier 2021, une étude⁵ menée par des chercheurs de SingHealth Polyclinics à Singapour n'a identifié que dix projets blockchain opérationnels dans le domaine de la santé parmi les 8 326 blockchains publiques référencées sur le site coinmarketcap.com.

Une entreprise de santé qui lancerait seule une blockchain n'a aucun sens. Un consortium d'entreprises du domaine de la santé qui exploiterait une blockchain publique commune en a plus. Dans ce sens, **PharmaLedger**, en réunissant 29 organisations du domaine de la santé, est une initiative prometteuse⁶. Mais un méga consortium d'entreprises de santé qui s'appuierait tout à la fois sur un système d'identités décentralisées, sur des blockchains publiques et des *sidechains** privées n'existe pas encore.

Toutefois, si la mise en œuvre de registres distribués appliquée au domaine de la santé n'en est encore qu'à ses débuts, les expérimentations et projets pilotes menés depuis 2010, ainsi qu'un certain engouement de la part de la communauté scientifique donne à voir quatre grands terrains d'expérimentation :

⁴ « Blockchain dans la pharma: les promesses s'envolent, les cas d'usage restent », Léo Caravagna, TicPharma, 5 janvier 2021, ticpharma.com.

⁵ « Commercially Successful Blockchain Healthcare Projects: A Scoping Review. », Fang, H. S. A, *Blockchain in Healthcare Today*, 4. 2021, <https://doi.org/10.30953/bhty.v4.166>

⁶ Parrainé par l'Initiative en matière de médicaments innovants (IMI) et la Fédération européenne d'associations et d'industries pharmaceutiques (EFPIA) dans le cadre du programme Horizon 2020, PharmaLedger est un projet de 36 mois, débuté en 2020, qui réunit 12 entreprises pharmaceutiques mondiales et 17 entités publiques et privées, notamment des organismes techniques, juridiques et réglementaires, des universités, des organismes de recherche et des organisations représentant les patients.



1. La gestion des données de santé et des dossiers médicaux des patients, appelée « dossier médical partagé » (DMP) en France, ou Electronic Health Records (EHRs) ailleurs dans le monde, des Etats-Unis au Brésil en passant par la Chine, le Danemark ou encore l'Inde.
2. La recherche sur de nouveaux médicaments, les essais cliniques, et la médecine de dite précision.
3. L'amélioration de la traçabilité des médicaments.
4. L'optimisation de la couverture de l'assurance maladie, notamment par l'usage de *smart contracts**.

Selon la manière dont ils sont conçus, ces projets s'inscrivent dans la poursuite de l'Objectif de développement durable 3, qui vise « *assurer la santé et le bien-être de tous, en améliorant la santé procréative, maternelle et infantile, en réduisant les principales maladies transmissibles, non transmissibles, environnementales et mentales*. Ces enjeux sanitaires pourront être réalisés à condition de mettre en place des systèmes de prévention visant la réduction des comportements déviants ainsi que tout facteur de risque pour la santé, d'assurer un accès universel à une couverture médicale et aux services

*de santé, de soutenir la recherche et le développement de vaccins et de médicaments et améliorer la gestion des risques sanitaires dans les pays en développement*⁷ ».

Selon le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), « *400 millions de personnes n'ont pas accès à des services de santé de base, 40% de la population mondiale n'a pas de protection sociale, et 1,6 milliard de personnes vivent dans des environnements fragiles où le manque d'accès aux services de santé basiques représente un obstacle majeur*⁸ ».

La cible 3.8 vise explicitement à faire en sorte que « *chacun bénéficie d'une couverture sanitaire universelle, comprenant une protection contre les risques financiers et donnant accès à des services de santé essentiels de qualité et à des médicaments et vaccins essentiels sûrs, efficaces, de qualité et d'un coût abordable*⁹ ». La cible 3.b entend, quant à elle, « *appuyer la recherche et la mise au point de vaccins et de médicaments contre les maladies, transmissibles ou non, qui touchent principalement les habitants des pays en développement, donner accès, à un coût abordable, à des médicaments et vaccins essentiels (...)*¹⁰ ».

7 Objectif de développement durable 3 : Donner aux individus les moyens de vivre une vie saine et promouvoir le bien-être à tous les âges, Ministère de la Transition écologique, <https://www.agenda-2030.fr/17-objectifs-de-developpement-durable/article/odd3-donner-aux-individus-les-moyens-de-vivre-une-vie-saine-et-promouvoir-le>

8 Programme des Nations Unies pour le développement, Objectif de développement durable 3 : Bonne santé et bien-être, <https://www.agenda-2030.fr/17-objectifs-de-developpement-durable/article/odd3-donner-aux-individus-les-moyens-de-vivre-une-vie-saine-et-promouvoir-le>

9 *Ibid.*

10 *Ibid.*

Voici quelques initiatives blockchain à l'œuvre dans les domaines de la gestion de données de santé, la recherche et la traçabilité des médicaments.

Données de patients

Dans le système de santé actuel, les patients disséminent leurs données personnelles à chaque fois qu'ils interagissent avec un acteur du système de santé, - hôpitaux, pharmacies, réseaux, médecins etc. Même si les données de santé, par nature à caractère personnel, sont dites **données sensibles** parce qu'elles révèlent des informations liées à la santé d'une personne, le modèle qui consiste à centraliser les données, en interne sur des serveurs ou bien dans des services d'hébergement à distance est devenue la norme. Or les données de santé sont intimement liées à la notion d'identité numérique (voir chapitre Identité et propriété) et plus précisément, à la notion d'identité numérique décentralisée, portée par les technologies des registres distribués et la normalisation de standards techniques portée notamment par le W3C.

En 2009, en même temps que Satoshi Nakamoto diffusait la première version du logiciel Bitcoin sur le site P2P Foundation¹¹, Catherine Quantin, alors au Service de Biostatistique et d'Informatique Médicale du Centre Hospitalier Régional et Universitaire de Dijon, en France, s'inquiétait déjà ainsi :

« Le fait que toutes les informations soient contenues en un seul lieu est un rêve qui témoigne d'une vision ancienne de l'organisation où le centralisme était la voie unique qu'il soit inspiré du jacobinisme à la française ou du centralisme démocratique cher aux partisans des systèmes collectivistes. Il y a pourtant plusieurs décennies que les pouvoirs publics ont pris conscience **du danger intrinsèquement lié à cette organisation centrale qui expose à tout perdre si elle est détruite**. Comment ne pas imaginer que tous les *hackers* du monde prendraient comme un défi le fait de s'introduire dans la banque nationale des dossiers médicaux des patients pour les consulter ou pire changer les informations qu'ils contiennent ? Comment ne pas craindre que des terroristes de toutes convictions pourraient y voir une chance extraordinaire de déstabiliser tout un pays en s'attaquant à un domaine auquel les citoyens accordent une importance majeure : leur santé et la confidentialité des informations qui s'y rattachent ? Comment accepter le risque que fait courir une telle organisation pour la vie privée et la sécurité des personnes si l'État qui l'a mis en place s'écartait des voies de la démocratie et du respect des libertés individuelles¹² ».

11 P2P Foundation Forum Posts <https://www.bitcoin.com/satoshi-archive/forum/p2p-foundation/#selection-13.1-2.3>

12 « Gestion décentralisée des documents médicaux des patients. Un système de recherche et d'accès aux



L'apport fondamental des blockchains dans le domaine de l'identité numérique, et donc des données de santé, est **d'inverser le modèle actuel fondé sur la centralisation des données gérée par une organisation, vers un modèle fondé sur la vérifiabilité d'attestations contrôlées par une personne**. Alors que le modèle actuel donne tout pouvoir à l'organisation qui « gère » les données de santé des individus, le modèle de l'identité numérique décentralisée redonne à l'individu l'opportunité de décider qui accède à ses informations personnelles.

Ce qui, finalement, correspond à l'esprit même du Règlement général sur la protection des données (RGPD) applicable dans l'ensemble des 27 États membres de l'Union européenne depuis le 25 mai 2018 et qui pose, entre autres, les principes du consentement « explicite » et « positif » d'une personne quant à l'usage de ses données personnelles ainsi que du droit à l'effacement de ces mêmes données. Ce changement de paradigme permet également à des tiers d'accéder aux données de santé des personnes tout en ayant la garantie de leur confidentialité et de l'usage qui en est fait.

La promesse d'initiatives blockchain consiste à rendre aux patients le contrôle de leurs données personnelles de santé. **Medical Chain**, créé en 2017 à Londres en Grande-Bretagne, affirme développer un système « *qui donne aux utilisateurs finaux du monde entier une plateforme sécurisée pour gérer et transférer leurs données de santé, afin d'obtenir des informations exploitables pour améliorer résultats de santé et de bien-être* ». **Patientory**, fondée en 2015 à Atlanta aux Etats-Unis promet de « *donner au patient le contrôle de ses données médicales, en leur donnant le pouvoir de partager la version la plus exhaustive et la plus complète de son dossier, avec chaque organisation de son réseau médical* ».

My Health My Data, un consortium européen d'une quinzaine de partenaires, subventionné à hauteur de 4 millions d'euros dans le cadre du programme européen Horizon 2020 entre 2016 et 2019 a eu pour ambition de « *sécuriser les données des patients, de réduire « par conception » le risque d'usurpation d'identité et d'atteinte à la vie privée, et d'introduire une nouvelle façon de partager les informations privées en responsabilisant leurs principaux propriétaires, les patients¹³* ». Filiale du groupe Be-ys, la société française Be-Studys¹⁴ commercialise **ProRegister** depuis août 2021 une

données », Quantin Catherine, Coatrieu Gouenou, Fassa Maniane *et al.*, *Document numérique*, 2009/3 (Vol. 12), p.23-35, <https://www.cairn.info/revue-document-numerique-2009-3-page-23.htm>

13 « My Health - My Data », European Commission, retrieved May 16, 2022, <https://cordis.europa.eu/project/id/732907>

14 « Be-studys veut associer les patients à la recherche médicale », Sylvie Jolivet, *Les Echos*, 9 mai 2019, <https://www.lesechos.fr/pme-regions/innovateurs/be-studys-veut-associer-les-patients-a-la-recherche-medicale-1017207>

version « *industrialisée du pilote ‘My health, my data’* », actuellement utilisé par quatre hôpitaux européens à Rome, Berlin et Londres et qui gère les données de santé de 81.000 patients. David Manset, directeur général de Bestudys explique plus en détail le projet ainsi : « *Les établissements de santé sont équipés d'un logiciel pour mettre à disposition les données des patients qui donnent leur consentement. Ce logiciel indexe et pseudonymise les données. Il crée une ‘carte d’identité’ de la donnée et l’enregistre dans la blockchain, qui ne contient pas de données personnelles (...) Chaque fournisseur de données est considéré comme un tiers de confiance. La blockchain permet de référencer leurs données sans être en conflit avec le RGPD. L'accès aux données se fait via le portail ‘My health, my data’. La demande d'accès créé un smart contract* qui permet la mise à disposition des données et la traçabilité de toutes les opérations via une API¹⁵* ».

Cependant, la plupart de ces initiatives, reposant sur des blockchains privées, la plupart du temps avec permission, relèvent plus de l'amélioration et de l'optimisation des systèmes existants plutôt que de nouveaux modèles

réellement décentralisés où les individus ont l'entièbre maîtrise de leurs données de santé. Des projets de blockchains publiques dans le domaine de la santé qui s'adressent à tout un écosystème ou un domaine spécifique sont complexes à mettre en place, principalement en raison de la diversité des acteurs et de leurs intérêts parfois contradictoires.

Dans un tout autre domaine, le séquençage du génome humain trouve de nombreuses applications en médecine, en biologie moléculaire, en génétique médicale, en microbiologie afin de poser un diagnostic, d'identifier des mutations génétiques ou les prédispositions génétiques d'une personne pour certaines maladies. Alors que le projet Génome humain, *Human Genome Project*, premier séquençage du génome humain a été lancé en 1988, s'est achevé en 2003 et a coûté 2,7 milliards de dollars¹⁶, un particulier peut aujourd'hui faire procéder au séquençage complet de son génome pour 100 dollars¹⁷.

En 2015, des chercheurs ont estimé qu'entre 100 millions et 2 milliards de génomes humains pourraient être séquencés d'ici 2025¹⁸.

15 « Blockchain dans la pharma: les promesses s'envolent, les cas d'usage restent », Ticpharma, retrieved May 16, 2022, <https://www.ticpharma.com/story/1498/blockchain-dans-la-pharma-les-promesses-s-envolent-les-cas-d-usage-restent.html?search=MHMD>

16 « Business, éthique, légalité... Le séquençage de l'ADN en questions », Alexandre Léchenet, *Le Monde*, 18 août 2014, https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2014/08/18/le-sequencage-du-genome-comment-ca-marche_4472313_4355770.html

17 « Une biotech chinoise lance le premier test génétique à 100 dollars », Fabrice Delaye, 27 février 2020, Heidi.news, heidi.news/

18 « Big Data: Astronomical or Genomical ? », Stephens ZD, Lee SY, Faghri F, Campbell RH, Zhai C, Efron MJ, et al., PLoS Biol, 2015, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002195>



Mais « qui a accès aux données et comment assurer leur sécurité ? Comment les données peuvent-elles être utilisées et partagées de manière responsable sans perdre les avantages du partage pour la recherche et les (futurs) patients ?¹⁹ » s'interroge Mohammed Alghazwi, chercheur à l'Université de Groningen aux Pays-Bas.

La société 23andMe illustre parfaitement l'écueil de la centralisation des données de santé des individus par une seule entité. Crée en 2006 en Californie, 23andMe est une société de biotechnologie américaine qui propose aux particuliers une analyse de leur code génétique.

En 2018, la *startup* a ouvert son capital à l'entreprise de santé GlaxoSmithKline²⁰, à hauteur de 300 millions de dollars, en autorisant également le géant pharmaceutique à mettre la main sur les données génomiques personnelles de ses clients « à des fins de recherches médicales pour développer de nouveaux médicaments²¹ ». Nul ne sait ce qu'il est depuis advenu, si des données ont fuité et de quelle manière les données génétiques des clients de 23andMe ont été utilisées par GlaxoSmithKline.

Une chose est sûre, c'est qu'aucun des « clients » de l'entreprise n'a pu s'opposer à l'utilisation de leurs données de santé par le géant pharmaceutique.

La nature même de ces services, qui consistent à confier des données génomiques personnelles à une seule entité qui gère les données de manière centralisée, est une pratique de plus en plus risquée. Aux Etats-Unis, sur la seule année 2021, plus de 40 millions de dossiers médicaux ont été publiquement exposés²². Et le législateur sera toujours en retard et les risques d'attaques informatiques gagneront toujours en intensité. Robert Kain, cofondateur de Luna DNA Inc²³, une plate-forme communautaire de recherche sur la santé et l'ADN explique ainsi qu'aux Etats-Unis, « *la loi sur la non-discrimination en matière d'informations génétiques protège les individus contre la discrimination de la part des employeurs et des compagnies d'assurance maladie. Mais, elle ne s'applique pas à l'assurance-vie et à l'assurance-invalidité, et ne protège pas contre la discrimination dans d'autres domaines, tels que l'éducation et le logement. À l'avenir, d'autres utilisations des données génomiques, potentiellement inquiétantes, pourraient être développées.*

19 Alghazwi, M., Turkmen, F., Velde, J. V. D., & Karastoyanova, D. (2021). Blockchain for Genomics: A Systematic Literature Review. arXiv. <https://arxiv.org/pdf/2111.10153>

20 « 23andMe and Other Sites are Selling Users' Genetic Data: How Safe is Your DNA ? », Justin Roberti, February 28, 2021, <https://hackernoon.com/23andme-and-ancestrycom-are-selling-users-genetic-data-how-safe-is-your-dna-x64k3330>

21 « A Major Drug Company Now Has Access to 23andMe's Genetic Data. Should You Be Concerned ? », Jamie Ducharme, Time, Jul 26 2018, <https://time.com/5349896/23andme-glaxo-smith-kline/>

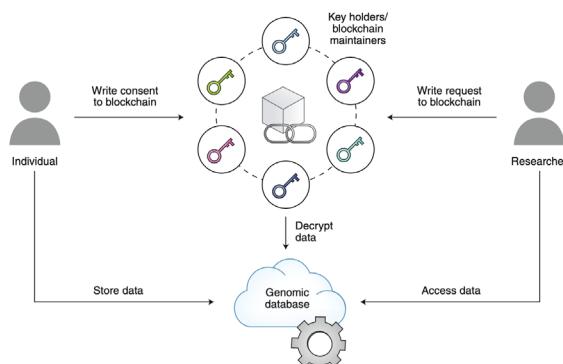
22 « The biggest healthcare data breaches of 2021 », Kat Jercich, November 16, <https://www.healthcareitnews.com/news/biggest-healthcare-data-breaches-2021>

23 « Database shares that transform research subjects into partners. », Kain, R., Kahn, S., Thompson, D. et al., *Nat Biotechnology* 37, 1112–1115, 2019, <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0278-9>

Par exemple, les données génomiques personnelles pourraient devenir précieuses pour la publicité ciblée ».

Encrypgen²⁴, Zenome²⁵, DNAtix²⁶, ou encore **Nebula Genomics** sont quelques-unes de ces *startups* proposant un modèle alternatif à celui d'entreprises privées comme 23andMe et proposent à l'utilisateur de garder le contrôle de ses données génomiques, et même d'en tirer profit s'il souhaite les partager avec des acteurs de la santé. **Nebula Genomics**, créé en 2016 par Dawn Song à San Francisco aux Etats-Unis, est une entreprise de biotechnologie qui offre aux particuliers un séquençage de leur génome dont les données sont indéchiffrables pour un tiers et donne à leur client le contrôle de qui peut y accéder, selon les finalités qu'il choisit, révoque et recompose.

La *startup* s'appuie sur Oasis Labs qui développe le réseau Oasis²⁷ (ROSE), fondé par Dimitar Dimitrakiev, Philipp Grenzebach et Jeremias Grenzebach en mars 2017 aux Pays-Bas. Le réseau Oasis (ROSE) est une blockchain de premier niveau, basée sur la blockchain Cosmos (ATOM), axée sur la protection de la vie privée et dont le mécanisme de consensus repose sur la preuve



de détention*. L'accès aux données génomiques est « *contrôlé par plusieurs parties indépendantes qui détiennent des fragments d'une clé de cryptage partagée. De plus, ces parties maintiennent une blockchain qui stocke de manière immuable et transparente les demandes d'accès aux données et le consentement des utilisateurs*²⁸ ». Le réseau Oasis est construit pour la finance ouverte et l'économie de données vérifiables à l'aide du SDK* Cosmos, dont l'architecture est similaire à la structure des blockchains publiques **Avalanche** ou **Polkadot**, reliant plusieurs blockchains différentes au sein d'un même écosystème. Nebula Genomics utilise le réseau Oasis Labs pour sécuriser les données de ses clients, et ainsi leur en donner le contrôle²⁹.

Zenome, créé à Moscou en Russie en 2017, utilise la blockchain publique Ethereum et des *smart contracts** pour mettre en relation des personnes

24 Fondée à New York aux Etats-Unis en 2016.

25 Fondée à Moscou en Russie en 2017.

26 Fondée à Ramat Gan en Israël en 2018.

27 « Ensuring auditability and immutability of actions with a distributed network. », Oasis Labs, retrieved 16 May, 2022, oasislabs.com

28 « Data privacy in the age of personal genomics », Kain, R., Kahn, S., Thompson, D. et al., Database shares that transform research subjects into partners, *Nat Biotechnology* 37, 1112–1115, 2019, <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0278-9>.

29 « Take Control of your Genomic Data », Nebula Genomics, retrieved May 16, 2022, nebula.org



souhaitant partager et vendre le séquençage de leur génome auprès de tiers, dont notamment des chercheurs. Le service proposé par Zenome est double : d'une part, il permet à quiconque de fournir les ressources de son ordinateur, que ce soit de l'espace disque ou du temps de processeur, pour le besoin de stockage distribué et l'analyse de données génétiques et obtenir une récompense en token ZNA et de l'autre, assurer une sécurisation des données génomiques des utilisateurs de son service.

A côté de l'offre de ces *startups*, des applications non commerciales de recherche génomique fournissent des solutions pour « *le partage, le traitement/analyse, le stockage sécurisé, le contrôle d'accès et la journalisation des accès aux données génomiques*³⁰ » en s'appuyant

sur les caractéristiques intrinsèques des blockchains, « *l'immuabilité, la décentralisation et le contrôle de l'accès/de l'utilisation*³¹ ».

Selon l'étude « *Blockchain for Genomics: A Systematic Literature Review*³² » publiée en novembre 2021, source de l'image ci-dessous, sur les treize entreprises commerciales identifiées par les chercheurs, la majorité des registres distribués repose sur des blockchains privées avec permissions, dont 31 % sont développés sur MultiChain³³ et 27,6 % sur la blockchain publique Ethereum (voir graphique *infra*).

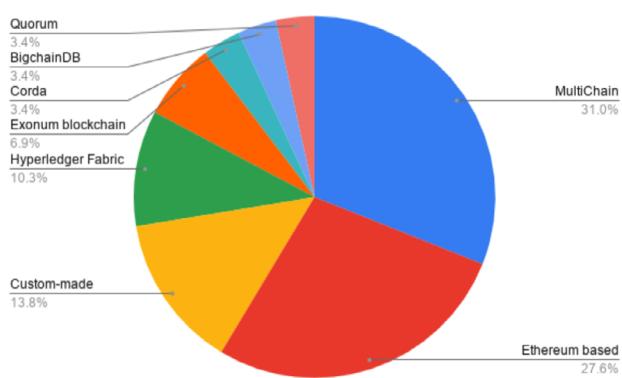


Fig. 8. Blockchain platforms used in genomic data applications

30 « *Blockchain for Genomics: A Systematic Literature Review*. », Alghazwi, M., Turkmen, F., van der Velde, J., & Karastoyanova, D., 2021, <https://arxiv.org/pdf/2111.10153.pdf>.

31 *Ibid.*

32 *Ibid.*

33 MultiChain est une plateforme blockchain permettant de construire et de déployer des réseaux blockchain privés ou avec permission. MultiChain est une source ouverte sous la licence GPLv3, disponible sur Github, et offre également des licences commerciales et un support. « *MultiChain For Developers* », Multichain, retrieved May 16, 2021, <https://www.multichain.com/developers/>

Recherche et essais cliniques.

Le rapport « *Blockchain technology applications in healthcare: An overview* », publié par des chercheurs Indiens en septembre 2021, estime que, dans le domaine des essais clinique et de la recherche, les blockchains pourraient « *résoudre les problèmes de modification des résultats et de fouille des données, assurer le transfert de rapports et de résultats d'essais cliniques permanents et horodatés, réduisant ainsi les cas d'escroquerie et d'erreur dans les essais cliniques, et résoudre les problèmes de faux résultats*³⁴ ».

D'autant plus que les essais cliniques menés pour la mise au point de nouveaux médicaments s'appuient de plus en plus sur le numérique, transition accélérée par la pandémie mondiale de Covid-19, pour notamment, selon le site d'information professionnelle mind Health, « *réduire les délais de recrutement des patients, ouvrir l'accès aux essais cliniques à un plus grand nombre d'entre eux, faciliter le recueil du consentement mais aussi simplifier la conduite des essais, fidéliser les patients dans l'étude ou encore utiliser des logiciels et outils numériques pour améliorer la supervision des études..., les usages se multiplient et contribuent au développement des essais décentralisés*³⁵ ».

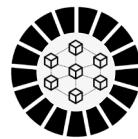
34 « *Blockchain technology applications in healthcare: An overview.* », Abid Haleem, Mohd Javaid, Ravi Pratap Singh, Rajiv Suman, Shanay Rab, International Journal of Intelligent Networks, Volume 2, 2021, Pages 130-139, <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2021.09.005>.

35 Mind Health est un service d'information professionnelle consacré à la mutation des industries de santé, édité par Frontline MEDIA, qui bénéficie du soutien de la Région Île-de-France, dans le cadre du programme PM'up, et de L'Institut pour le Financement du Cinéma et des Industries Culturelles (IFCIC), « *Présentation de Mind Health* », Mind Health, consulté le 16 mai 2020, <https://www.mindhealth.fr/presentation/>

Les professionnels de la santé parlent dorénavant « *d'essais cliniques décentralisés* », ou de « *données de santé en vie réelle* », c'est-à-dire que les participants à une un essai clinique ne se déplacent plus physiquement au sein de centres de recherche mais sont suivis à distance avec, éventuellement, le déplacement chez un professionnel de santé local ou même directement chez eux.

La start-up franco-américaine **Embleema Health Network** développe depuis 2018 plusieurs services reposant sur un registre distribué pour partager des données de santé pour la recherche contre les maladies chroniques et les maladies rares, en rassemblant patients, communautés médicales, scientifiques, industriels et autorités de santé. L'outil informatique d'Embleema permet notamment de gérer le consentement des patients quant au partage de leurs données de santé, afin qu'ils puissent participer à des essais cliniques rémunérés. D'un point de vue technique, Embleema a développé sur Hyperledger Fabric une blockchain privée avec permission dont tous les nœuds sont gérés par l'entreprise.

Elle travaille aujourd'hui pour la Food and Drug Administration (FDA) aux Etats-Unis, l'administration américaine



chargée d'autoriser la commercialisation des médicaments sur le territoire. Dans des propos rapportés par mind Health, Robert Chu, le fondateur d'Embleema explique l'objet de ce contrat de six millions de dollars sur trois ans : « *Il s'agit de constituer une base de données de recherche comprenant toutes les informations génomiques annotées des variants du covid-19 et d'une manière générale, de tous les variants des pathogènes (influenza, grippe, HIV, hépatite B, salmonelle). À travers la plateforme Embleema, la FDA partagera ces données avec l'ensemble des chercheurs dans le monde. Lorsqu'un laboratoire pharmaceutique utilise une donnée de référence sur notre plateforme, la FDA sait qu'elle est de qualité réglementaire et qu'elle répond à des critères de qualité élevés qui comprennent la provenance, l'auditabilité de tous les traitements réalisés dessus. Tout le pipeline de traitement de la donnée doit se conformer au maximum aux standards internationaux. Nos algorithmes permettent de garantir une véracité dans l'analyse. En plus d'éviter les fraudes ou la falsification, notre système accélère l'approbation réglementaire des produits de santé relatifs à tous ces pathogènes et leur mise à disposition aux patients³⁶* ».

Il n'empêche qu'une blockchain privée avec autorisation et dont tous les nœuds

sont gérés par une seule entreprise correspond plus à l'optimisation d'interactions sur une base de données plutôt qu'à la mise en œuvre d'un langage commun universel permettant tout à la fois de garantir la confidentialité des données des personnes et permettre le traitement en masse de ces mêmes données de santé. Ce processus a néanmoins le mérite d'optimiser une collecte « *coûteuse, lente et manuelle, monétisée par des intermédiaires* » expliquait Alexis Normand en 2018, alors en charge du consortium chez Embleema, en citant l'exemple du coût de la reconstitution d'un dossier médical complet d'une personne atteinte de mucoviscidose, qui s'élève à 10 000 dollars, ou de la maladie de Parkinson, qui s'élève à 20 000 dollars³⁷.

Consilix, créée en 2017 à Singapour, avec un bureau en Inde, se présente également comme une plateforme « *d'essais cliniques décentralisés³⁸* », reposant sur des « *données de santé en vie réelle* ». La plateforme, appelée LifeLedger™, articulerait une solution de « consentement numérique », activable sur place ou à distance, des dispositifs de mesures de données de santé, à porter par le patient, ainsi que des journaux électroniques et des questionnaires, un module de télémédecine pour assurer une communication entre médecins et patients, le tout géré par une blockchain

36 « Un essai clinique totalement virtuel est cent fois plus rapide qu'une étude classique », Robert Chu (Embleema) », Camille Boivigny, Mindhealth, 18 octobre 2022, <https://www.mindhealth.fr/parcours-de-soins/robert-chu-embleema-un-essai-clinique-totalement-virtuel-est-cent-fois-plus-rapide-quune-etude-classique/>

37 « Embleema met la blockchain au service de la pharmacovigilance », Wassinia Zirar, TicPharma, 12 octobre 2018, <https://www.ticpharma.com/story/732/>

38 « Platform Features », Consilix, retrieved May 16, 2022, <https://www.consilix.com/platforms-overview>

et des *smart contracts** pour « notariser les données » et permettre au patient d'autoriser ou non à partager ses données de santé. Comme les autres projets, celui-ci met en œuvre une blockchain privée.

Molecule, créé à Berlin en Allemagne en 2018, est « *une place de marché pour le financement, la collaboration et la transaction de projets de recherche biopharmaceutique en phase de démarrage*³⁹ ».

Les chercheurs présentent leurs projets de recherche, trouvent des investisseurs et des collaborateurs et développent leurs projets de recherche. Les investisseurs et les fonds choisissent les projets de recherche biopharmaceutique et financent ceux retenant leur attention. L'infrastructure de la plateforme Molecule est construite sur Ethereum permettant aux chercheurs et aux investisseurs d'avoir un accès complet à l'écosystème de la Finance décentralisée (DeFi). Le catalogue des projets de recherche à financer est public⁴⁰.

Par exemple, le programme « *découvrir de nouveaux activateurs de l'autophagie*⁴¹ » (l'autophagie est un processus d'auto-digestion qui consiste en une dégradation de composants intracellulaires par le lysosome) » porté

par le professeur de biologie cellulaire moléculaire Viktor Korolchuk de l'Université de Newcastle en Angleterre a reçu 285 000 dollars de financement pour effectuer ses recherches. Est associé au projet de recherche des jetons non fongibles (NFT*) qui correspondent aux investissements et à l'exploitation des droits de propriété intellectuelle.

Paul Kohlhaas, co-fondateur de Molecule explique ainsi que cette nouvelle approche permet « *la combinaison jetons non fongibles (NFT), une nouvelle infrastructure d'échange automatique (AMM*) et des structures de gouvernance (DAO*) pour réinventer la propriété intellectuelle, le financement de ces actifs*⁴² ». En juin 2022, Molecule référence 250 projets de recherche à financer, trois Organisations autonomes décentralisées (DAO*) rassemblant 4 500 personnes et capitalisant plus de 10 millions de dollars⁴³.

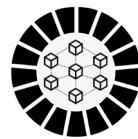
39 What is Molecule?: <https://docs.molecule.to/documentation/introduction/what-is-molecule>

40 Discover Research Projects Invest in biopharma researchers and their work <https://discover.molecule.to>

41 Discovering Novel Autophagy Activators <https://discover.molecule.to/projects/c13vghfw7005209lcesv415qq>

42 An Open Bazaar for Drug Development: Molecule Protocol Paul Kohlhaas June 11, 2021 <https://medium.com/molecule-blog/an-open-bazaar-for-drug-development-molecule-protocol-a47978dd914>

43 Molecule: <https://molecule.to/>



Traçabilité des médicaments

Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), un médicament sur dix en circulation dans le monde est de « *qualité inférieure et falsifié⁴⁴* », un sur quatre dans les pays en développement. La falsification de médicaments concerne dorénavant toutes les principales classes thérapeutiques, en ce y compris les médicaments, vaccins et produits de diagnostic *in vitro*. Toujours selon l'OMS, « *ce sont les pays à revenu faible ou intermédiaire, ceux dans des zones de conflits, de troubles civils et ceux dont les systèmes de santé sont faibles ou inexistant qui supportent la plus lourde part du problème des produits médicaux de qualité inférieure ou falsifiés⁴⁵* ».

Plusieurs solutions ont déjà été imaginées par le passé pour lutter contre les médicaments falsifiés : l'impression d'un hologramme sur l'emballage d'un médicament, qui pourrait cependant être facilement contrefait ; la sérialisation de masse, via un système d'identification par radiofréquence (RFID) pour attribuer des identifiants uniques aux emballages, mais qui, en plus d'être coûteux, pourrait également être facilement contrefait ; les technologies de chiffrement de

masse (*Mass encryption technology*), qui nécessitent toutefois que tous les acteurs utilisent la même technologie, ce qui semble compliqué à mettre en œuvre ; ou encore la directive de l'Union européenne sur les médicaments falsifiés (FMD) qui vise à rendre obligatoire, en Europe, l'identification des médicaments au fur et à mesure de leur progression sur toute la chaîne d'approvisionnement.

La communauté scientifique propose également des modèles et « solutions » blockchains pour lutter contre la contrefaçon de médicament, dont notamment, **LifeCrypter⁴⁶**, créé en 2017, **Drugledger⁴⁷** en 2018 ou encore **PharmaCrypt⁴⁸** en 2020. Tous présentent un registre distribué comme la réponse la plus appropriée aux problématiques des médicaments contrefaits et à leur traçabilité, du site de production jusqu'au patient :

Ces initiatives partent du constat qu'une autorité centralisée est un « point de défaillance unique », et proposent le développement de registres distribués assortis de *smart contracts** afin de garantir la transparence de ces chaînes logistiques complexes, parmi lesquelles **StaTwig** fondée à Hyderabad en Inde

44 « Produits médicaux de qualité inférieure ou falsifiés », WHO, retrieved May 16, 2022, <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/substandard-and-falsified-medical-products>

45 *Ibid.*

46 « Blockchain technology in the pharmaceutical industry. », Schöner, M. M., Kourouklis, D., Sandner, P., Gonzalez, E., & Förster, J., 2017, Frankfurt, Germany: Frankfurt School Blockchain Center.

47 « Drugledger: A Practical Blockchain System for Drug Traceability and Regulation. », Huang, Yan & Wu, Jing & Long, Chengnian., Cybermatics, IEEE Explore, 2018, 10.1109/Cybermatics_2018.2018.00206.

48 « PharmaCrypt: Blockchain for Critical Pharmaceutical Industry to Counterfeit Drugs, », N. Saxena, I. Thomas, P. Gope, P. Burnap and N. Kumar, in *Computer*, vol. 53, no. 7, July 2020, pp. 29-44, doi: 10.1109/MC.2020.2989238

en 2016, **Meditect**, créée à Bordeaux en France en 2017, **Mediledger** créé à San Francisco en 2017 ou encore **PharmaTrace**, créé à Munich en Allemagne en 2017.

Mais beaucoup de ces initiatives consistent à développer des blockchains privées avec permission, ce qui prête à penser que le système mis en place permet essentiellement d'optimiser les échanges d'informations entre les parties prenantes sans véritablement garantir une véritable décentralisation, une immutabilité des données ainsi qu'un contrôle transparent de leur accès et de leur utilisation, portée par des blockchains publiques.

Meditect a développé une solution de traçabilité et d'authenticité des médicaments envoyés d'Europe vers l'Afrique en s'appuyant sur la directive européenne « Médicaments Falsifiés » en vigueur depuis février 2019. Initiée en 2011, cette directive européenne impose aux laboratoires pharmaceutiques d'inscrire sur chaque boîte de médicament un code barre unique en deux dimensions, un Datamatrix, correspondant notamment à (1) un numéro de série unique, (2) le code produit du fabricant sous la forme d'un numéro d'article commercial global ou GTIN⁴⁹ (GS1), (3) un numéro de lot et (4) la date d'expiration du médicament

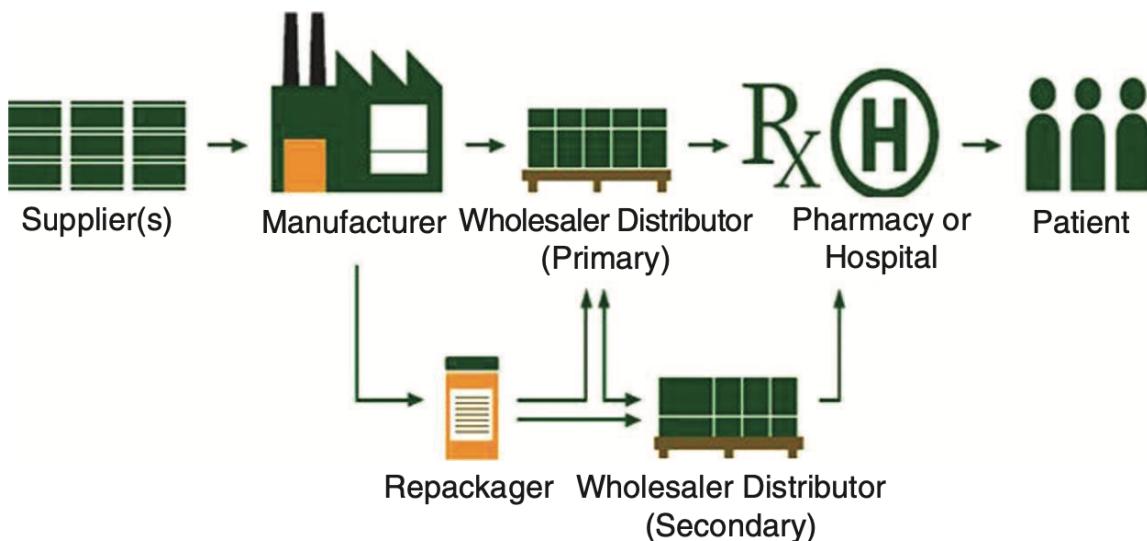
ainsi qu'un dispositif anti-effraction sur l'emballage des médicaments soumis à prescription⁵⁰. Meditect a testé, avec le laboratoire pharmaceutique UPSA, l'extension de la sérialisation européenne des médicaments à ceux destinés au marché africain. L'entreprise a également développé deux applications mobiles à destination des pharmaciens et des « patients/clients » en Afrique. A l'aide de *Meditect Pro*, le pharmacien du réseau scanne le Datamatrix sur la boîte de médicament pour en vérifier l'authenticité. L'application *Meditect Patient* permet à n'importe qui, équipé d'un smartphone ou d'un *feature phone** de vérifier que les médicaments ne sont pas falsifiés.

Le laboratoire pharmaceutique, client de Meditect, peut suivre, sur un tableau de bord en ligne, la distribution et la géolocalisation des ventes de ses médicaments. Le système a été testé sur les boîtes d'Efferalgan vendues en Côte d'Ivoire, soit environ un million de boîtes⁵¹, et devrait prochainement être déployé au Cameroun et au Sénégal. D'un point de vue technique, la blockchain de Meditect est un *fork** du protocole Bitcoin Core, adapté au service d'échanges et de vérification de numéros sérialisés qui permet uniquement au laboratoire qui a produit le médicament et à Meditect d'ajouter des données à l'identifiant et qui permet à chaque partie prenante

49 *Global Trade Item Number*, Code article international : un code identifiant toute unité commerciale à l'international de manière unique.

50 « Médicaments falsifiés: une nouvelle réglementation pour une meilleure sécurité des patients », European Commission, 8 février 2019, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/IP_19_872

51 « Comment Meditect a peaufiné sa solution de traçabilité du médicament avec UPSA », Aurélie Dureuil, MindHealth, 16 mars 2021, <https://www.mindhealth.fr/industrie/post-commercialisation/comment-meditect-a-peaufine-sa-solution-de-tracabilite-du-medicament-avec-upsa/>



The pharmaceutical supply chain.

Source : « PharmaCrypt: Blockchain for Critical Pharmaceutical Industry to Counterfeit Drugs, », N. Saxena, I. Thomas, P. Gope, P. Burnap and N. Kumar, in *Computer*, vol. 53, no. 7, July 2020, pp. 29-44, doi: 10.1109/MC.2020.2989238

tout au long du cycle de vie (laboratoire, grossiste, distributeur, consommateur) d'accéder aux informations de la blockchain et de les vérifier à l'aide d'une application⁵². C'est une blockchain privée avec permission dont le code source est public⁵³.

Aux Etats-Unis, le projet **Mediledger** se présente comme une blockchain privée avec permission et rassemble une trentaine d'acteurs de la chaîne logistique. L'initiative a pour ambition d'utiliser un registre distribué pour se conformer aux exigences de sérialisation et d'interopérabilité du *Drug Supply Chain*

Security Act (DGSCA), qui deviendront obligatoires aux Etats-Unis en novembre 2023⁵⁴.

Quant à **StTwig**, une *startup* créée à Singapour et en Inde en 2016, elle développe **VaccineLedger**, « une plateforme open source conçue pour assurer la traçabilité de bout en bout des vaccins au niveau des flacons dans la chaîne d'approvisionnement mondiale ». La *startup*, financée en partie par le Fonds d'innovation de l'UNICEF a également été nommée « innovateur mondial » au sein du Forum économique mondial (WEF) en 2020⁵⁵.

52 « Meditect: Saving lives with the blockchain », Cristoffer Harlos, Medium, October 17, 2018, <https://medium.datadriveninvestor.com/meditect-saving-lives-with-the-blockchain-3124b364ae4e>

53 « Meditect », Github, retrieved May 16 2022, https://github.com/Meditect/blockchain_go/

54 « What You Need to Know about the Drug Supply Chain Security Act », Rob Besse, Pharmexec, March 18, 2020, <https://www.pharmexec.com/view/what-you-need-know-about-drug-supply-chain-security-act>

55 « UNICEF Innovation Fund Graduate: Statwig », Sid Chakravarthy, March 30, 2020, <https://www.unicef.org/innovation/fundgraduate/StaTwig>

Les informations enregistrées sur la plateforme concernent l'identification des vaccins sur la chaîne de production mais également d'autres informations critiques comme notamment la température et l'humidité afin de garantir que la chaîne de conservation est bien respectée et que les vaccins sont correctement conservés.

VaccineLedger, dont le code source est public⁵⁶ sous licence MIT, a été développé avec l'aide de LACChain⁵⁷, une alliance réunissant différents acteurs de l'écosystème blockchain en Amérique latine et dans les Caraïbes et dirigée par le Laboratoire d'innovation du Groupe de la Banque interaméricaine de développement (IDB Lab⁵⁸).

56 « The Ledger », GitHub, retrieved May 16, 2022, <https://github.com/statwig-com/theledger>

57 « Características de LACChain », LACChain, retrieved May 16, 2022, <https://www.lacchain.net/home?lang=en>

58 BID Lab, « About », <https://bidlab.org/en/about>

ENJEUX ET QUESTIONS

Alors que les scandales liés à l'exposition ou à la fuite de données de santé ne cessent de croître partout dans le monde¹, les blockchains et notamment la notion d'identité décentralisée (voir Chapitre Identité et propriété) apporte une réponse originale à la gestion et la sécurisation des données de santé.

En effet, l'apparente contradiction des enjeux liés à ces données sensibles consiste tout à la fois à assurer, voire garantir, leur confidentialité tout en favorisant leur partage selon le contexte d'utilisation. Une personne peut avoir besoin de partager un document de santé avec un employeur sans que ce dernier n'accède et conserve des informations personnelles.

L'European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) a ainsi pour projet de lancer un « passeport européen de sécurité sociale » afin de mettre en œuvre la vérification transfrontalière de la couverture sociale des travailleurs détachés. Cela signifie « qu'une institution compétente en matière de sécurité sociale dans un État membre

délivre un document sous la forme d'une attestation vérifiable et qu'un inspecteur dans un autre État membre le vérifie² ». Une personne peut également souhaiter partager ses données de santé à des fins de recherche médicale en ayant la garantie de ne pas pouvoir être retrouvé individuellement.

L'innovation dans les domaines de la médecine et de la recherche médicale dépend intrinsèquement de la quantité de données mise à la disposition des chercheurs. Ce qui revient également à se poser la question de la patrimonialité ou non des données personnelles de santé, avec deux visions différentes entre celle anglo-saxonne pour qui les données de santé peuvent faire l'objet de commerce, et celle européenne qui vise à considérer ces données comme sensibles.

Mis à part le domaine du séquençage génétique, où des startups proposent une architecture technique résolvant l'apparente contradiction entre la sécurisation des données des clients et leur partage à des fins de recherche scientifique,

1 List of data breaches > Healthcare https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_data_breaches

2 Navigating the EBSI Use Cases Social security, EBSI, <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSI/Use+cases>



force est de constater que la plupart des initiatives que nous avons identifiées reposent sur la mise en œuvre de blockchains privées, que ce soit dans les domaines de la gestion des données de patient, de la recherche de nouveaux médicaments ou encore des essais cliniques.

La question du rôle des États dans la mise en œuvre de systèmes d'identité décentralisés, afin notamment d'être utilisés dans le cadre d'une réforme globale des systèmes d'information manipulant des données de santé reste entière.

De plus, l'éventuelle appropriation des données de santé par les individus ne ferme pas la question de la marchandisation de ces dernières. En effet, un système dans lequel les

individus sont propriétaires de leurs données de santé leur permettrait de les vendre à qui est le plus offrant. Si, en théorie, l'idée peut sembler séduisante, elle soulève toutefois des questions éthiques. Des citoyens vivant sous le seuil de pauvreté se verrait-ils contraints de donner un accès à leurs données de santé afin de bénéficier d'aides provenant de l'hémisphère nord ? En quoi des initiatives blockchain pourraient-elles apporter des éléments de réponse à cette problématique ?

Il s'avère en tout cas que les blocages sont actuellement plus politiques que techniques et que les enjeux financiers du marché de la santé dépassent encore largement les enjeux sociaux et éthiques tenant à la confidentialité des données de santé de tout un chacun.



ENVIRONNEMENT & CLIMAT

ENVIRONNEMENT ET CLIMAT

Nombre de projets dans la base : 101

Nombre de projets actifs : 67

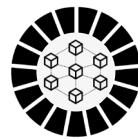
Nom des projets actifs : 1PLANET Marketplace ; Arup water exchange ; Atato ; Avano ; BFlo ; BICOWG ; Brokoli Network ; Carbonfuture GmbH ; CarbonX ; Carbonyzed.xyz ; Changeblock ; Choose ; Circularise ; Civic Ledger ; Climate Futures ; ClimateDAO ; Climatetrade ; CO2DAO ; CO2ken ; Coorest ; Cut.eco ; DAO IPCI ; dclimate ; Diatom ; DOVU ; Earthbanc ; ecoriseDAO ; Eden DAO ; Empower ; EthaVerse ; Evergreen Coin ; Excess Materials Exchange ; Farm ; Flow Carbon ; Gainforest ; Green World Campaign;»International Platform for Insetting (IPI)» ; Inuk;klimaDAO ; Moonjelly DAO ; Nori ; Open Earth Foundation ; Open Forest Protocol ; OpenSurface ; Pacifical ; Plastic Bank ; PlastiCoin ; PlataformaVerde ; Porini.Foundation ; PoseidonFoundation ; Proyecto Colmena ; RECDefi ; Regen.network ; Reneum (Sindicatum Blockchain Technologies) ; Solarfullcycle ; Solid World DAO ; Sustainable Bitcoin Standard ; TerraBioDAO ; Toucan Protocol ; TREECYCLE ; Treejer ; UPCO2 ; Veridium Labs ; Verity Tracking ; Wood Tracking Protocol ; Wren ; Zero Carbon Project ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à bonjour@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

Pour certains, associer blockchains et environnement est un oxymore. Pourtant, un double mouvement semble actuellement à l'œuvre : le premier vise à décarboner le secteur des blockchains et le second tient à l'accélération d'un certain nombre d'initiatives dont l'objectif est de lutter contre le changement climatique et préserver l'environnement.

Conscients des questions environnementales et écologiques qu'ils suscitent, certains acteurs des

blockchains œuvrent à décarboner le secteur. C'est l'objectif affiché du *Crypto Climate Accord*, initié en 2021 par Energy Web, le Rocky Mountain Institute (RMI) et le promoteur de systèmes financiers équitables Alliance for Innovative Regulation (AIR), rejoint depuis par plus de 250 acteurs du marché. L'ambition commune est de décarboner le secteur mondial des crypto-actifs en « *donnant la priorité à la gestion du climat et en soutenant la transition de l'ensemble du secteur de la crypto vers des émissions nettes de gaz à effet de*



serre nulles d'ici 2040¹ ». Deux objectifs intermédiaires sont prévus : d'une part, « *atteindre des émissions nettes nulles de la consommation d'électricité pour les signataires du Crypto Climate Accord d'ici 2030²* », et d'autre part, « *élaborer des normes, des outils et des technologies avec les membres du Crypto Climate Accord afin d'accélérer l'adoption et la vérification des progrès vers des blockchains alimentées à 100 % par des énergies renouvelables d'ici la conférence COP30 de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques en 2025³* ».

En amont de cette initiative récente, il importe de souligner que la question du climat et de l'environnement anime la communauté crypto, et au-delà, depuis plusieurs années. Le *Blockchain & Climate Institute* (BCI), basé à Londres depuis 2016, est un groupe de réflexion et d'action qui vise à faciliter la mise en œuvre de l'accord de Paris. De même, la *Climate Chain Coalition* est une organisation au statut d'observatoire officiel de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (UNFCCC), créée à Paris en décembre 2017, et dont le siège est à Ottawa au Canada et qui – forte 170 membres à travers 44 pays – vise à mobiliser le financement climatique et améliorer les mécanismes dits de Mesure, Rapport et Vérification ((*Measurement, Reporting and Verification* - MRV) afin d'intensifier la lutte contre le changement climatique.

Une autre tendance observable tient à la multiplication de projets blockchain dédiés à lutter contre le changement climatique et à la préservation de l'environnement.

Et, dans ce champ, la variété des projets mérite d'être soulignée : décentralisation de marchés volontaires de carbone, de marchés de l'eau, financement de collectes de déchets, dons en crypto-actifs fléchés vers des projets environnementaux ou bien encore projets d'agroécologie et de reforestation. Les sujets de décentralisation des échanges énergétiques, des certificats d'énergie (économies, garanties de *sourcing* renouvelable, ...) et l'optimisation du réseau, sont abordés dans le chapitre intitulé « Énergie ». Le chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable » traite, en outre, de la finance dédiée au développement des énergies renouvelables.

1 Crypto Climate Accord : <https://cryptoclimate.org/accord>. consulté le 31 mai 2022.

2 Ibid.

3 Ibid.

Climat et réduction du carbone

Le marché carbone est l'une des pierres angulaires de la politique énergie-climat de l'Europe depuis 2005, date du lancement du Système communautaire d'échange de quotas d'émission – en anglais *European Union Emissions Trading System* (EU ETS⁴). Depuis, le nombre de marchés de quotas d'émission dans le monde est en constante augmentation, notamment aux Etats-Unis depuis 2009, mais aussi au Canada, en Australie, en Chine, au Japon, en Nouvelle-Zélande, en Corée du Sud, en Suisse, ainsi qu'en Chine pour ne citer que les principaux marchés.

Le 14 juillet 2021, la Commission européenne a adopté une série de propositions législatives exposant la manière dont elle entend atteindre la neutralité climatique dans l'Union européenne d'ici 2050. Aujourd'hui, le système communautaire d'échange de quotas d'émission s'applique à 11 000 installations européennes, responsables d'environ 50 % des émissions de CO₂ et 40 % des émissions de gaz à effet de serre générées globalement dans l'Union européenne⁵.

Ce marché carbone est destiné à l'échange de crédits carbone, avec l'objectif de

fournir des incitations économiques à la réduction des émissions. Chaque unité de crédit représente la réduction ou l'élimination d'une tonne d'équivalent CO₂ de l'atmosphère. Cela inclut également le carbone séquestré ou évité grâce à la mise en œuvre du projet. Il existe deux types de marchés : (1) Ceux qui présentent un caractère obligatoire (dits de « conformité ») – dont les participants, à l'échelle de pays et d'industries, sont assujettis à une limite d'émissions – (2) et ceux qui procèdent d'un démarche volontaire, ne sont pas réglementés par une autorité publique, mais sont toutefois régis par des administrateurs de standards de certification des réductions d'émissions de carbone, tels que le Verified Carbon Standard⁶ (Verra), l'American Carbon Registry⁷, ou encore le Gold Standard⁸.

Sur les marchés volontaires de carbone, il n'y a pas de limite au nombre de crédits carbone générés par des projets climatiques à impact positif que d'autres pourront acheter pour compenser leurs émissions.

C'est sur ces marchés que les blockchains se sont invitées : « *de nombreux projets Web3 innovent dans la chaîne de valeur du carbone, car les blockchains améliorent intrinsèquement la transparence,*

⁴ « EU Emissions Trading System (EU ETS) »; European Commission, retrieved May 16, 2022, https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

⁵ « Marchés du carbone > Le système européen d'échanges de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (SEQE) », Ministère de la transition énergétique, 20 décembre 2021, <https://www.ecologie.gouv.fr/marches-du-carbone>

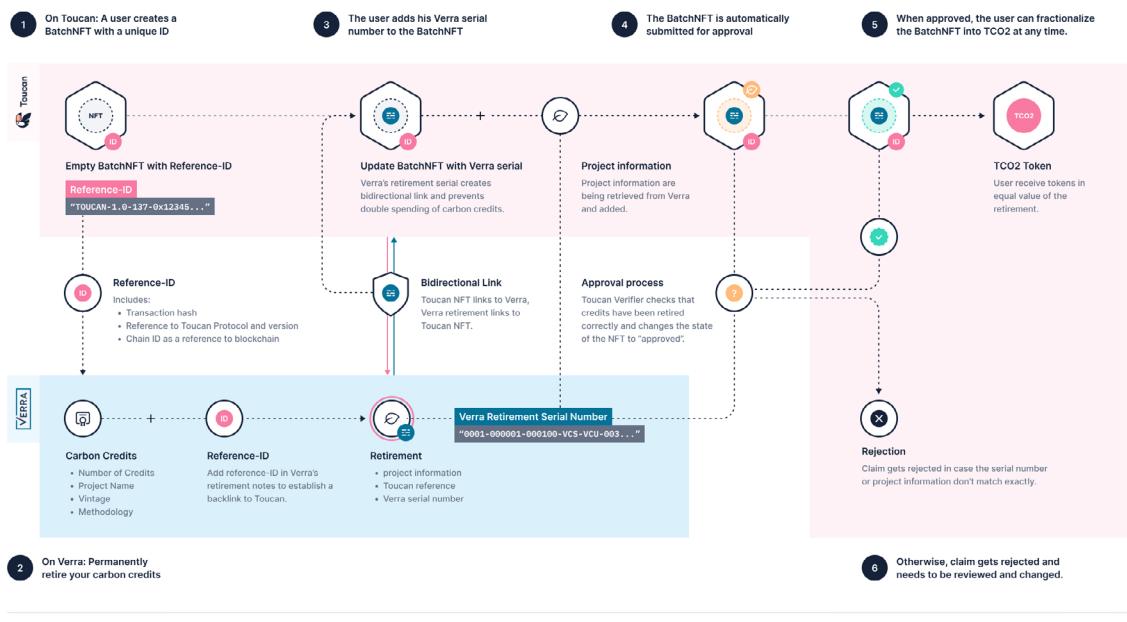
⁶ Verra: <https://verra.org/project/vcs-program/>

⁷ American Carbon Registry: <https://americancarbonregistry.org/>

⁸ Gold Standard: <https://www.goldstandard.org/>



How does the Carbon Bridge work?



« How does Carbon Bridge Work », Toucan Protocol.

Source : Toucan Protocol, May 16 2022, <https://docs.toucan.earth/protocol/bridge/carbon-bridge>

la traçabilité, la programmabilité et la négociabilité des compensations de carbone » explique Louise Borreani de Curve Labs⁹.

Toucan Protocol, Nori, le Cambridge Centre for Carbon Credits, Moss, Klima DAO, Climate Trade ou encore Wren ou CO²DAO sont quelques-uns de ces projets qui viennent fluidifier les marchés volontaires de carbone traditionnels, au nombre d'une vingtaine en 2020 selon le rapport publié par « *l'International Carbon Action Partnership Status Report*¹⁰ ».

Toucan Protocol, créé en 2020, se définit comme « *une infrastructure de marché pour amener les marchés du carbone sur les blockchains publiques* ». Le protocole permet à quiconque de tokeniser* ses crédits carbone, inscrits sur le registre Verra, et de les rendre disponibles dans le monde émergent de la finance décentralisée¹¹ (DeFi*), comme l'illustre le partenariat entre Toucan Protocol et **Celo** (voir *infra*). Le protocole, *open source*¹², met en oeuvre un « *Carbon Bridge* » et le token Base Carbon Tonne (BCT), autrement dit une

9 « Cybernetic solutions for the distributed economy », Curve Labs, retrieved May 16, 2022, <https://blog.curvelabs.eu>

10 « Emissions Trading Worldwide: Status Report 2020. Berlin: International Carbon Action Partnership », ICAP, 2020, https://icapcarbonaction.com/system/files/document/200323_icap_report_web.pdf

11 Voir Chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable ».

12 « Smart contracts of the Toucan Protocol », Github, retrieved May 16 2022, <https://github.com/ToucanProtocol/contracts>

passerelle des crédits carbone (Verified Carbon Units / VCUs) issus du registre Verra¹³ vers la blockchain publique de Toucan Protocol (le token BCT). Construit sur la blockchain Polygon¹⁴, le protocole Toucan déploie un ensemble de *smart contracts*^{*15} qui garantissent tout à la fois la provenance des crédits carbone, et permettent également d'en assurer une plus grande liquidité, en les réunissant dans des fonds communs (*carbon pools*). Ces nouveaux instruments financiers sont rendus disponibles dans toutes les applications de la Finance décentralisée construite autour de l'écosystème Ethereum. Le mécanisme de consensus de la blockchain publique repose sur la preuve de détention*, est également compatible avec d'autres applications comme **Klima DAO** dont nous parlerons plus loin.

En mai 2022, 18,3 millions de tonnes de crédits carbone provenant du registre Verra, correspondant à 167 projets climats ont ainsi été tokenisés sur la blockchain de Toucan Protocol¹⁶ et disponibles à l'écosystème de la Finance décentralisée. **Celo**¹⁷, une blockchain

publique sans permission - qui s'adresse tout particulièrement aux populations qui sont exclues du système bancaire traditionnel et permet à quiconque possédant un smartphone d'envoyer et recevoir des crypto-actifs et des crypto-actifs stables* (dollars, euros et Real) - a noué un partenariat avec Toucan Protocol en avril 2022. Toucan et Celo projettent de créer un pont Celo-Polygon en collaboration avec Curve Labs pour permettre aux utilisateurs de transférer leurs tokens Base Carbon Tonne (BCT) et Nature Carbon Tonne (NCT), entre Celo et Polygon. Une fois ce pont créé, Toucan sera lancé sur la blockchain Celo et permettra à quiconque appartenant à l'écosystème « *d'accéder, de déposer dans des pools et de retirer des TCO2 (crédits carbone tokenisés) et d'échanger des BCT et NCT contre des jetons carbone détenus dans des pools*¹⁸ ». Celo projette également de lancer à l'avenir un « *programme de subventions destiné à augmenter le nombre de projets ReFi¹⁹ dans l'écosystème Celo*²⁰ ».

Créé en 2017, **Nori** se présente, dans son livre blanc daté de 2019²¹, comme

13 « Verified Carbon Units (VCUs) », Verified Carbon Standard, retrieved May 16, 2022. <https://verra.org/project/vcs-program/verified-carbon-units-vcus/>

14 Polygon est une solution de mise à l'échelle de type « layer two » ou « sidechain » qui fonctionne parallèlement à la blockchain Ethereum, permettant des transactions rapides et des frais réduits.

15 Les mots marqués d'un astérisque renvoient vers le glossaire.

16 « Carbon On-Chained », Toucan Protocol, retrieved May 16, 2022, <https://toucan.earth/>

17 Voir Chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable » et <https://celo.org/>

18 « The Celo Foundation, Climate Collective, and Toucan Collaboration Deepens to Bring ReFi to the Masses » Celo Foundation, Apr 11 2022. <https://medium.com/celorg/the-celo-foundation-climate-collective-and-toucan-collaboration-deepens-to-bring-refi-to-the-e714700b96d0>

19 Finance régénérative ; voir notamment « The Promises and Pitfalls of Regenerative Finance Towards a Critical Yet Constructive Dialogue », Curve Labs Curve Labs, May 23, 2022, <https://blog.curvelabs.eu/the-promises-and-pitfalls-of-regenerative-finance-4910f0f6f690>

20 *Ibid.*

21 Nori, « white paper », https://storage.googleapis.com/nori-prod-cms-uploads/white_paper_e567a48109/



« une place de marché basée sur la blockchain pour éliminer le dioxyde de carbone de l'atmosphère » en s'appuyant sur l'agriculture dite « régénératrice ».

L'agriculture régénératrice

Source : Novethic, consulté le 16 Mai 2022, <https://www.novethic.fr/lexique/detail/agriculture-regeneratrice.html>

Cette approche est constituée d'un ensemble de méthodes d'agriculture – inspirées notamment par la paysannerie traditionnelle et la permaculture – ayant pour but de régénérer les sols dégradés, d'augmenter la biodiversité et de lutter contre les changements climatiques en favorisant la rétention du dioxyde de carbone. De cette façon, l'agriculture régénératrice contribue à réduire les niveaux de CO₂ engendrés par l'utilisation d'engrais minéraux et de produits agrochimiques. L'agriculture régénératrice repose essentiellement sur l'élimination du labour qui détruit les sols ; la mise en place de cultures de couverture et intercalaires, la rotation des cultures et l'application de compost permettant d'augmenter biologiquement la fertilité des sols ; le maintien de la biodiversité et la régénération des sols grâce à la restauration de la flore bactérienne ; le recours au pâturage. L'agriculture régénératrice associe productivité et protection des écosystèmes sur le long terme.

Nori a mis en place un certificat de suppression du carbone (Carbon Removal Certificates - CRC) à partir de *smart contracts** basés sur la blockchain Ethereum, représentant un token correspondant à une tonne de CO₂ supprimée. Ce certificat de suppression du carbone est créé à partir d'une version modifiée de la norme de jeton non fongible ERC-721, en combinaison avec la norme de jeton avancé ERC-777 qui lui confère des propriétés de non fongibilité, permettant à la fois de distinguer chaque certificat et de les rendre divisibles pour gagner en liquidité²².

La place de marché Nori met ainsi en relation (1) des agriculteurs qui s'engagent à des pratiques régénératrices en fournissant les données historiques de leurs projets. (2) Des vérificateurs tiers qui « *légitiment ensuite ces données en s'assurant qu'elles sont raisonnables, légalement autorisées et qu'elles ne figurent pas dans d'autres registres. Ensuite, un outil de quantification tiers crée des estimations de suppression de carbone qui informe la génération de token NRT de Nori. Enfin, (3) les acheteurs peuvent acheter des tonnes de suppression de carbone Nori (NRT) auprès des fournisseurs*²³ ». Nori a ainsi vendu plus de 78 000 tonnes de CO₂ éliminées et a rémunéré quelque 1,3 millions de dollars aux agriculteurs qui ont mis en œuvre de telles pratiques.

white_paper_e567a48109.pdf

22 « A blockchain-based marketplace for removing carbon dioxide from the atmosphere. Version 3.0.1 », NORI, February 18, 2019, https://storage.googleapis.com/nori-prod-cms-uploads/white_paper_e567a48109/white_paper_e567a48109.pdf

23 « Our Mission is to reverse Climate Change », NORI, retrieved May 16, 2022, <https://nori.com/litepaper>

Le caractère ouvert et décentralisé des blockchains publiques sans permission permet à quiconque de construire d'autres initiatives s'appuyant sur leur architecture décentralisée, comme, par exemple, KlimaDAO.

KlimaDAO, à ne pas confondre avec ClimateDAO, est une Organisation autonome décentralisée (DAO*) et un protocole de finance décentralisée (DeFi) mettant en œuvre un token appelé KLIMA. Ce dispositif fonde un marché carbone décentralisé et ouvert, conceptualisé et construit par une équipe distribuée et pseudo-anonyme²⁴, inspiré d'OlympusDAO (autre protocole DeFi ayant déjà attiré plus de 500 millions de dollars depuis sa mise en œuvre en mai 2021, hébergé sur la blockchain Ethereum, et qui vise à créer une réserve monétaire adossée à un panier de crypto-actifs). L'objectif de KlimaDAO est « *d'encourager la réduction des émissions en faisant monter le prix des actifs carbone*²⁵ ». Un procédé à rapprocher des « investisseurs activistes », des investisseurs qui achètent des actions dans le but de gagner en influence et de faire pression sur la direction d'une entreprise afin qu'elle oriente sa stratégie selon leurs revendications. La banque Lazard, qui

procède à un décompte annuel de ces fonds, estimait à 42 milliards de dollars en 2021 les « *participations minoritaires au capital de sociétés cotées supposées mal gérées en s'efforçant de peser sur leur stratégie*²⁶ ».

Selon l'équipe de KlimaDAO, « *plus l'externalité négative de leurs dommages devient coûteuse, plus la décision de réduire les émissions et d'investir dans des solutions vertes est rentable* ». Autrement dit, le mécanisme de KlimaDAO consiste à retirer des crédits du marché volontaire du carbone et à les placer dans la trésorerie de la DAO*, avec pour effet d'augmenter les coûts des compensations carbone et de les rendre plus élevés pour les entreprises à forte intensité de carbone.

KlimaDAO, *open source*²⁷, met en œuvre un token ERC20 selon la norme Ethereum, appelé KLIMA, indexé au token BCT (Base Carbon Tonne) correspondant à un crédit – équivalent à une tonne de carbone – émis sur la blockchain de Toucan Protocol (voir *supra*), provenant des Verified Carbon Units (VCUs) de Verra. Ces tokens KLIMA sont notamment échangeables sur la plateforme d'échange décentralisée* (DEX) **Sushiswap**. Ils sont bloqués

24 Le pseudo-anonymat permet à quelqu'un de publier et de commenter de manière anonyme, sans qu'un identifiant soit visible, les informations le concernant étant en la possession du fournisseur du service ou l'administrateur du site web.

25 What is Klima DAO and How Does it Work ?, retrieved May 16, 2022, <https://www.coingecko.com/buzz/what-is-klima-dao-and-how-does-it-work>

26 « Les Fonds activistes ont davantage choisi leurs cibles », Guillaume Bayre, TradingSat, 6 février 2022, <https://www.tradingsat.com/actualites/marches/en-2021-les-fonds-activistes-ont-davantage-choisi-leurs-cibles-1004759.html>

27 « KlimaDAO », Github, retrieved May 16, 2022, <https://github.com/KlimaDAO/klimadao>



dans la trésorerie de Klima DAO et leurs détenteurs votent sur la politique de l'Organisation autonome décentralisée*. KlimaDAO joue ainsi, selon leurs termes, de « *banque dé-centrale en régissant la politique monétaire de cette nouvelle monnaie adossée au carbone, tout comme une banque centrale régit la politique monétaire d'une monnaie fiduciaire*²⁸ ». La DAO* a acquis en peu de temps plus de 120 millions de dollars de compensations de carbone via Toucan Protocol.

Selon le cabinet McKinsey, le prix de la tonne de carbone a vocation à croître dans les années à venir, de sorte que « *la demande de crédit carbone pourrait être multipliée par un facteur de 15 ou plus d'ici 2030 et par un facteur allant jusqu'à 100 d'ici 2050*²⁹ », pour un marché estimé à 50 milliards de dollars en 2030. Klima DAO prend le pari qu'il sera prochainement plus rentable pour des entreprises générant trop d'émissions de modifier leurs pratiques que de compter sur le rachat de crédits carbone.

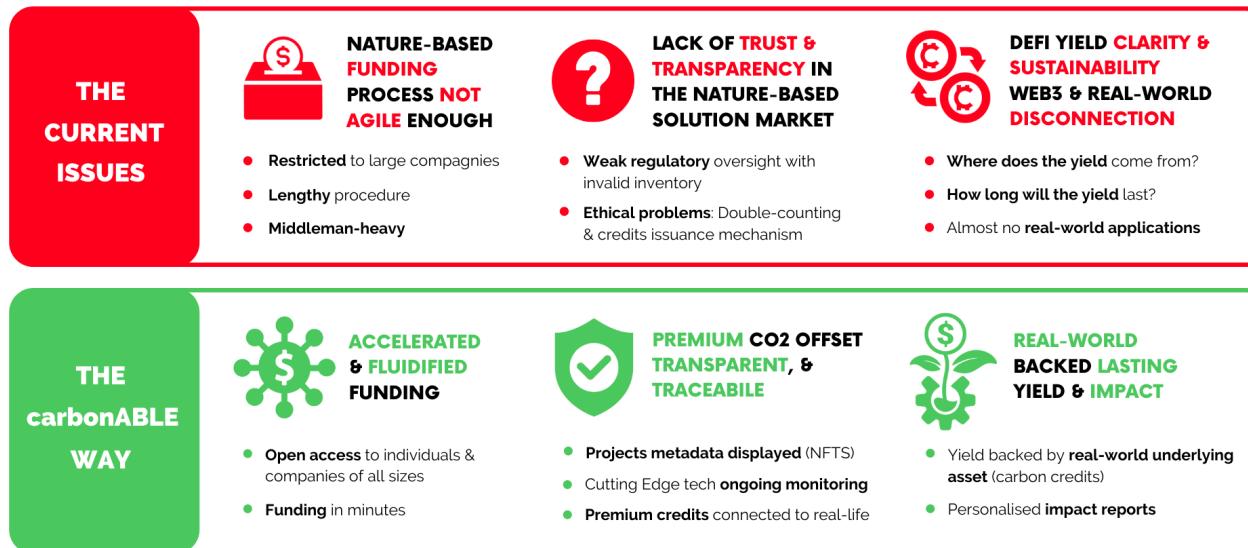
Si toutes ces initiatives s'attaquent à la dimension financière des places de marché carbone, d'autres visent à **rendre accessible au plus grand nombre l'accès aux marchés volontaires de carbone** tout en permettant aux entreprises de **vérifier l'impact des projets financés par les crédits**, cet aspect faisant régulièrement l'objet de critiques. C'est notamment l'ambition de **CarbonABLE**, créé à Grenoble en France en novembre 2021 ou encore du **Cambridge Centre for Carbon Credits (4C)**, créé au sein de l'Université de Cambridge en Angleterre, à la même date.

CarbonABLE allie NFT* et Finance décentralisée pour financer des « puits de carbone », des projets environnementaux capables de capturer et de séquestrer du carbone. CarbonABLE est construit sur la blockchain Cosmos (Atom), notamment parce qu'elle utilise un mécanisme de consensus basé sur la preuve de détention*, peu énergivore. Les projets de décarbonation³⁰ sont proposés sur la plateforme CarbonABLE et financés sous la forme de vente de NFT*, du fait de leur caractère non-fongible. Une fois financé, CarbonABLE reçoit au bout de 6 mois les premiers crédits carbone correspondants au projet.

28 « Enter : KlimaDAO », KlimaDAO, retrieved May 16, 2022, <https://docs.klimadao.finance/#8b79>

29 « A blueprint for scaling voluntary carbon markets to meet the climate challenge », Christopher Blaufelder, Cindy Levy, Peter Mannion, and Dickon Pinner, McKinsey, January 29, 2021, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/a-blueprint-for-scaling-voluntary-carbon-markets-to-meet-the-climate-challenge>

30 Décarbonation : *ensemble des mesures et des techniques permettant de réduire les émissions de dioxyde de carbone*. Vocabulaire de l'environnement : climat-carbone, Journal Officiel de la République française, 24 septembre 2019, https://www.connaissance-des-energies.org/sites/default/files/pdf-actualites/joe_20190924_0222_0049.pdf



CarbonABLE Lite Paper, Source, CarbonABLE : <https://carbonable.notion.site/carbonable/CarbonABLE-Lite-Paper-82bda161f3594964931b2be7d84429ff#7cb3ab5a31fc492e8333c2d2efb786ec>

Les détenteurs de NFT* obtiennent alors un rendement financier en crypto-actifs stables* et en CARBZ, un token de gouvernance et d'augmentation de rendement (*Yield*). Les projets financés par l'intermédiaire de CarbonABLE sont suivis en temps réel par Wild Sense³¹, créée avec le soutien de l'Agence spatiale européenne, et dont l'objet est de sélectionner, certifier, surveiller et garantir les projets de crédit carbone. Une première vente de NFT* en mai 2022 vise à planter « 8 000 espèces natives sur 4 hectares dans le but de connecter différentes parties de la réserve du Golfo Dulce dans le sud du Costa Rica³² » a été lancée avec succès³³.

Une dizaine de projets de décarbonation répartis sur quatre continents sont en phase de financement, ce qui représente près d'un million de tonnes de crédits CO₂. CarbonABLE souhaite ainsi répondre à plusieurs critiques émises à l'encontre des marchés carbone.

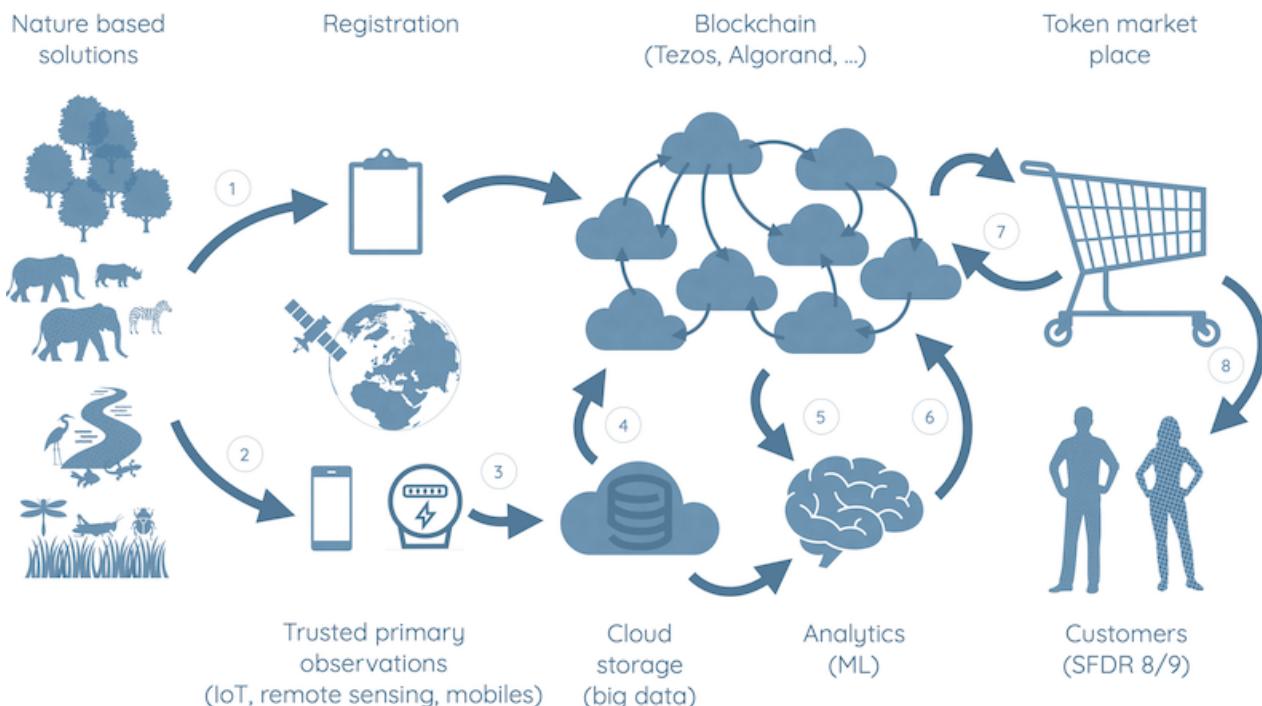
Le Cambridge Centre for Carbon Credits (4C) a pour ambition de créer « *une place de marché décentralisée de confiance où les acheteurs de crédits carbone peuvent financer directement et en toute confiance des projets respectueux de la nature* »³⁴. Cette plateforme, en cours de développement, s'appuiera sur la blockchain publique Tezos pour relier des entreprises qui financent des

31 Wild Sense: <https://www.wildsense.co/>

32 Wild Sense, Costa Rica Banegas: <https://www.wildsense.co/projects>

33 « CarbonABLE's First Mint: 160 NFTs restoring the forest at Banegas Farm! », CarbonABLE, May 3, 2022, <https://carbonable.medium.com/banegas-farm-reforesting-to-be-finance-by-carbonables-160-nfts-b4b36b5a4645>

34 « Learn about our approach and first prototype », Cambridge Center for Carbon Credit, retrieved May 16,



How the decentralised marketplace for nature-based solutions works

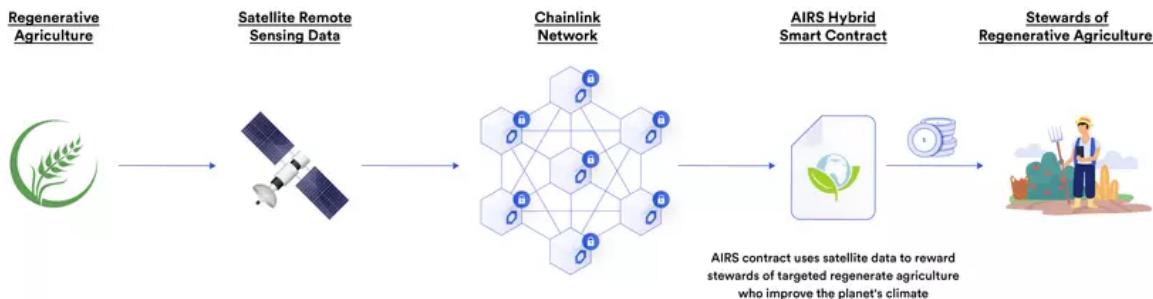
Source : Cambridge Centre for Carbon Credit,
retrieved May 16, 2022, <https://4c.cst.cam.ac.uk/about/marketplace>

projets de compensation carbone avec des porteurs de projets de défense de l'environnement, notamment par le biais d'oracles décentralisés*, automatisés et transparents, relevant de l'imagerie satellitaire. Selon le Cambridge Centre for Carbon Credits « *le système algorithmique est capable non seulement de quantifier rétrospectivement les externalités positives qui découlent des zones de projet, mais aussi de prédire leur potentiel* », l'un des points faibles des standards classiques de certification des réductions d'émissions de carbone.

A côté d'une offre de compensation carbone destinée aux entreprises, un certain nombre de projets blockchain proposent également aux particuliers

de compenser leurs émissions de gaz à effet de serre. Comme **Dovu**, créé en 2016 à Wales en Angleterre, **Chooose**, créé en 2017 à Oslo en Norvège ou encore, aux Etats-Unis, **Climate Futures** en 2018 et **Flow Carbon** en 2021. Ces services – parfois confus sur la manière dont ils procèdent – promettent à un particulier de calculer et de compenser son empreinte carbone en choisissant un projet à financer. Ces crédits carbone, tokenisés, proviennent souvent des registres classiques de type Verra ou Gold Standard.

Une autre manière de lutter contre le réchauffement climatique passe par des projets de reforestation comme ceux portés par **Open Forest Protocol**,



ChainLink Labs Blockchain can help us beat climate change. Here's how.

Source : Adelyn Zhou, WeForum, Jun 30 2021,

<https://www.weforum.org/agenda/2021/06/blockchain-can-help-us-beat-climate-change-heres-how/>

GainForest ou encore le programme mené conjointement par **Green World Campaign, l'université de Cornwell** avec le soutien de l'oracle décentralisé **ChainLink**.

Fondé en 2020 à Genève, **Open Forest Protocol** vise à « mesurer, vérifier et financer de manière transparente des projets d'agroforesterie grâce à la technologie blockchain ». Vingt-sept projets de reboisement sont actuellement en cours au Kenya, au Costa Rica, au Panama, en Colombie et en Corée du Sud. Le plus récent, amorcé en 2022 avec la Côte d'Ivoire, implique les communautés locales et une organisation non gouvernementale pour reboiser et restaurer plus de 5 000 hectares de terres forestières dégradées dans la région de Gorké³⁵.

Open Forest Protocol est une application décentralisée (dApp*) construite sur le protocole NEAR³⁶, un protocole blockchain qui permet le développement de *smart contracts**, interopérables avec la blockchain Ethereum. Le mécanisme de consensus du protocole NEAR repose sur la preuve d'enjeu déléguée* (*delegated proof of stake*) qui utilise le *sharding*, c'est-à-dire le partitionnement d'une base de données afin de réduire le risque de centralisation des réseaux et d'offrir des transactions plus rapides et moins onéreuses.

Pour tenir compte de la nature géospatiale du reboisement, l'application décentralisée génère des jetons non fongibles (NFT*) qui représentent une zone au sein de laquelle un projet de reboisement est en cours. Alors que les informations du projet de reboisement sont stockées sur IPFS³⁷, un système

35 « Open Forest Protocol tackles climate change naturally », Julie Mollins, ForestNews, April 18, 2022, <https://forestsnews.cifor.org/76905/blockchain-platform-offers-forestation-efforts-access-to-carbon-finance>

36 Lancé en 2020 par Illia Polosukhin et Alexander Skidanov, Near protocol permet le **développement d'applications décentralisées** (dApps*), qui repose sur des *smart contracts* à consensus de preuve de détention. Near Protocol a levé 533 millions de dollars depuis son lancement (Source : Crunchbase.com)

37 L'IPFS ou InterPlanetary File System est un protocole pair-à-pair (P2P) de distribution de contenu adressable



distribué pour le stockage et l'accès à des contenus distribués, les métadonnées du NFT* sont mises à jour « *de sorte que toutes les informations relatives au projet de reboisement sont totalement transparentes et traçables pendant toute la durée de vie du projet* » et pourront éventuellement permettre d'émettre des crédits carbone.

La plupart des projets de reboisement visent à mettre en relation des communautés locales avec des organisations de validation, ainsi que des partenaires financiers et des entrepreneurs au sein d'une même communauté décentralisée. Mais Open Forest Protocol met également en œuvre des outils de Mesure, Rapport et Vérification (MRV) parmi lesquels l'imagerie satellitaire, l'intelligence artificielle et des capteurs de l'Internet des objets (IoT), afin de certifier ou non l'avancée des projets.

Une autre initiative de reboisement est menée par **Green World Campaign**, une association américaine, en partenariat avec l'**Université de Cornwell** avec le soutien de l'oracle décentralisé* **ChainLink**. Depuis 2012, **Green World Campaign** est engagée au Kenya, en Inde, en Éthiopie et au Mexique sur des projets d'agroécologie, combinant le reboisement d'arbres et d'autres

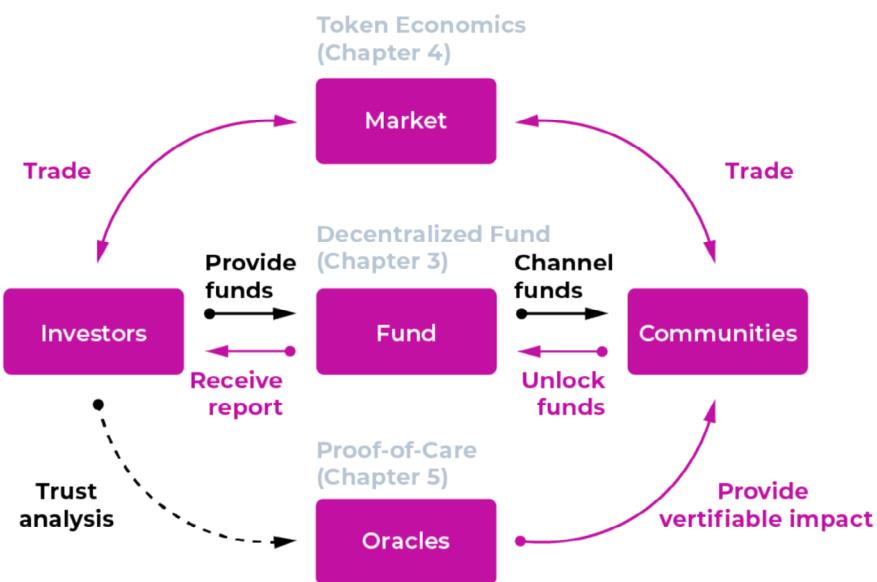
plantations. Au Kenya, **Green World Campaign** a déjà planté « *3,75 millions d'arbres, établi 100 programmes d'éco-écoles et assuré la formation des agriculteurs, la santé des femmes et des enfants et les moyens de subsistance en milieu rural*³⁸ ». En 2021, des *smart contracts** ont été développés pour récompenser automatiquement les personnes qui régénèrent des parcelles de terre en augmentant la couverture végétale, en améliorant le sol et en mettant en œuvre d'autres pratiques agricoles réparatrices, identifiées via les données satellitaires.

« *Lorsque les oracles de Chainlink apportent la preuve de l'amélioration d'une terre (via l'imagerie satellite) sur la blockchain, le smart contract* déclenche le versement d'une somme d'argent. Grâce à ce système, les intendants des terres peuvent recevoir rapidement et efficacement leurs récompenses. En même temps, seuls ceux qui ont un impact réel peuvent obtenir des récompenses, car le paiement n'intervient que lorsqu'une condition du monde réel est remplie et vérifiée sur la blockchain. L'ensemble de ce processus est automatisé, évolutif et à l'épreuve des fraudes, et peut être reproduit dans des centaines de cas d'utilisation dans tous les secteurs*³⁹ » explique Adelyn Zhou de Chainlink Labs.

par hypermédia. Il permet de « stocker » des fichiers ou des arborescences de fichiers de manière décentralisée et permanente, et d'y accéder via un nœud ipfs ou via un navigateur web. Il permet aussi d'héberger un site web statistique. Voir Chapitre « Contenus numériques et arts ».

38 « We All have the power to regreen the world » Greenworld, retrieved May 16, 2022, <http://greenworld.org/>

39 « How will blockchain technology help fight climate change ? Experts answer », Max Yakubowski, CoinTelegraph, September 5, 2021 <https://cointelegraph.com/explained/how-will-blockchain-technology-help-fight-climate-change-experts-answer>



Vue d'ensemble de tous les acteurs et modules impliqués dans la plateforme Gain-Forest. Les transactions permettent de lever des fonds (en noir) ou sont des incitations basées sur des tokens (en violet). Source : « GainForest White Paper.Version 1.5.0 », GainForest Non-Profit, retrieved May 16 2022, https://drive.google.com/file/d/1k7V8g2eHDgDSw_kttObaOy5IrksnuHal/view

Quant à **GainForest**, qui remporté le concours Hack4Climate de la COP 23 des Nations unies en 2017 et a officiellement été créé deux plus tard à Zurich, le projet se présente comme « *un fonds décentralisé utilisant l'intelligence artificielle pour mesurer et récompenser la gestion durable de la nature⁴⁰* ». Il est construit sur la blockchain **Solana**, en raison de sa faible empreinte carbone. Le projet collecte des dons en crypto-actifs pour « *acheter des forêts à des propriétaires terriens, agrandir des parcs nationaux et prévenir la déforestation⁴¹* ». Le prix d'un hectare de forêt tropicale vierge au Paraguay, par exemple, est de 300 dollars. Les donateurs reçoivent des informations et des photos sur le

projet qu'ils ont financé sous la forme de jetons non fongibles (NFT) que Gain Forest appelle NFTrees. Le projet combine des *smart contracts** construits sur **Solana**. Le système de Mesure, Rapport et Vérification (MRV) s'appuie sur des images satellites couplées à des photographies prises par drone et un traitement de données basé sur des algorithmes d'intelligence artificielle. Depuis le début de l'année 2022, GainForest travaille avec le ministère de l'Environnement du Paraguay pour protéger plusieurs milliers d'hectares de forêt tropicale dans le *Gran Chaco Americano* du Paraguay. C'est l'une des zones les plus vulnérables au changement climatique, et l'un des principaux puits

40 « A crypto-currency to reverse deforestation », GainForest, retrieved May 16 2022, <https://www.gainforest.net/>

41 *Ibid.*



de carbone de la planète⁴². Il s'étend en partie sur les territoires de l'Argentine, de la Bolivie, du Brésil et du Paraguay, entre les rivières Paraguay et Paraná à l'est, et l'Altiplano andin à l'ouest.

Pollution et déchets

Regen Ledger, créé en 2017 aux Etats-Unis dans l'Etat du Delaware, est une blockchain publique à preuve d'enjeu* (PoS), développée avec le SDK* **Cosmos** et conçue « pour la vérification des revendications, des accords et des données relatives à l'état écologique⁴³ ». Regen Network fournit une plateforme ouverte conçue spécifiquement pour faire fonctionner diverses applications « telles que les crédits carbone régénératifs⁴⁴, la transparence de la chaîne d'approvisionnement, le suivi de la reforestation et les véhicules d'investissement tels que les obligations écologiques⁴⁵ ».

Le livre blanc de Regen Network, mis à jour le 15 février 2021⁴⁶, propose « la création d'un système décentralisé permettant de surveiller et de vérifier l'état écologique et le changement d'état [des lieux], (...) »

pour créer un grand livre comptable écologique capable de récompenser la régénération écologique par le biais de contrats intelligents ». La proposition de Regen Network est de « récompenser la régénération écologique » par le biais de smart contracts⁴⁷.

L'architecture de la blockchain Regen Ledger articule trois concepts pour relier l'état écologique d'un lieu avec un financement participatif :

- Les *Ecological State Protocols* (ESPs), qui définissent, via des algorithmes, les conditions nécessaires à la vérification du changement d'état sur une parcelle.
- Les *Supply Protocols* (SPs) qui permettent de lier l'état écologique aux chaînes d'approvisionnement de manière fiable.
- Les *Ecological Contracts* (ECs) qui permettent le financement et la rémunération suite au changement d'état.

42 « Solana-Based Climate Change Project Employs 'NFTrees' to Save Rainforests », Ian Allison, Coindesk, April 21, 2022, <https://www.coindesk.com/business/2022/04/21/solana-based-climate-change-project-employs-nftrees-to-save-rainforests/>

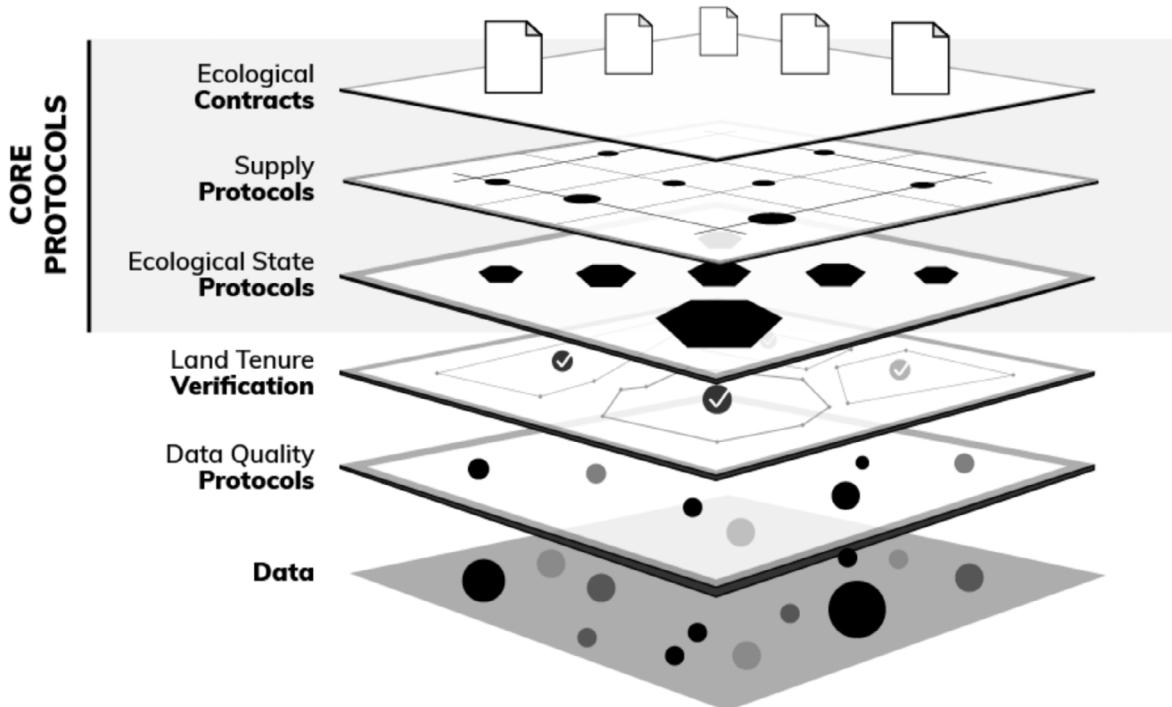
43 « Our Approach », Regen Network, retrieved May 16, 2022, <https://www.regen.network/developers/>

44 En travaillant notamment avec American Carbon Registry, Verra et Gold Standard

45 « Regen Network Development, Inc », LinkedIn, retrieved May 16, 2022, <https://www.linkedin.com/company/regen-network/about/>

46 « Regen Network Whitepaper. Version 1.3 », G. Booman, A. Craelius, B. Deriemaeker, G. Landua, W. Szal, B. Weinberg, Regen Network, February 15, 2021, <https://regen-network.gitlab.io/whitepaper/WhitePaper.pdf>

47 « Regen Network Economics Technical Paper An Ecological Market-Commons, Secured by Proof-of-Stake. Version 0.2 », G. Landua, K. Birchard, W. Szal, Regen Network, February 16, 2021, <https://regen-network.gitlab.io/whitepaper/Economics.pdf>



How Regen is Creating an Eco-Friendly Blockchain

Source : Regen Network, November 5, 2018, retrieved May 16 2022, <https://medium.com/regen-network/lets-cut-to-the-chase-for-all-the-great-environmental-projects-blockchain-supports-it-s-a-c3ea96401c28>

Plusieurs projets de séquestration du carbone dans le sol construits sur Regen Network ont actuellement en cours en Australie, aux Etats-Unis, en République démocratique du Congo, au Kenya, ou encore en Equateur⁴⁸. **Eco-Cacao**, une coopérative d'agriculteurs producteurs de cacao dans la province d'Esmeraldas, en Équateur gère des fermes agro forestières dans la région du Chocó-Darién, qui s'étend le long de la côte colombienne du Pacifique, du Sud-Ouest du Panama au Nord-Est de l'Équateur. Eco-Cacao vérifie la gestion durable des terres et verse une

prime aux agriculteurs qui gèrent avec succès des exploitations reproduisant la forêt native, qui génèrent ainsi des rendements élevés de séquestration du carbone tout en augmentant la biodiversité sur l'exploitation. L'état des parcelles de terres est enregistré sur la blockchain Regen Ledger afin d'en avoir une vision transparente et de procéder au paiement et financement de leur gestion écologique. Ils sont déclenchés pour l'instant par deux certificateurs tiers impliqués dans le projet : Terra Genesis International⁴⁹ et le Seed Guardian Network⁵⁰.

48 « Discover Ecocredits and NCT Basket tokens », Regen Registry, retrieved May 16, 2022, <https://registry.regen.network>

49 Tera Genesis: <https://terra-genesis.com/>

50 Seed Guardian: <https://www.gardenorganic.org.uk/seed-guardians>



Regen Network s'appuie ainsi sur une variété de sources de données pour vérifier l'état écologique des parcelles, dont notamment des données de télédétection telles que l'imagerie par satellite et par drone, des données émise par des capteurs de l'Internet des Objets (IoT), les données de Systèmes d'information géographiques (SIG) publics ou encore des données soumises par les utilisateurs eux-mêmes, telles que les résultats des analyses de sol.

Dans le domaine de la lutte contre la pollution, notamment du plastique dans les océans, **Plastic Bank**, démarré en 2013 depuis le Canada et **Ocean Plastik** créé en 2018 depuis la République Tchèque, mais dont l'activité semble être suspendue depuis l'épidémie de Covid 19, s'appuient tous deux sur un concept simple : « *nettoyer les océans en payant les gens pour collecter les déchets plastiques - ce qui génère également des revenus pour les aider à améliorer leur vie⁵¹* ».

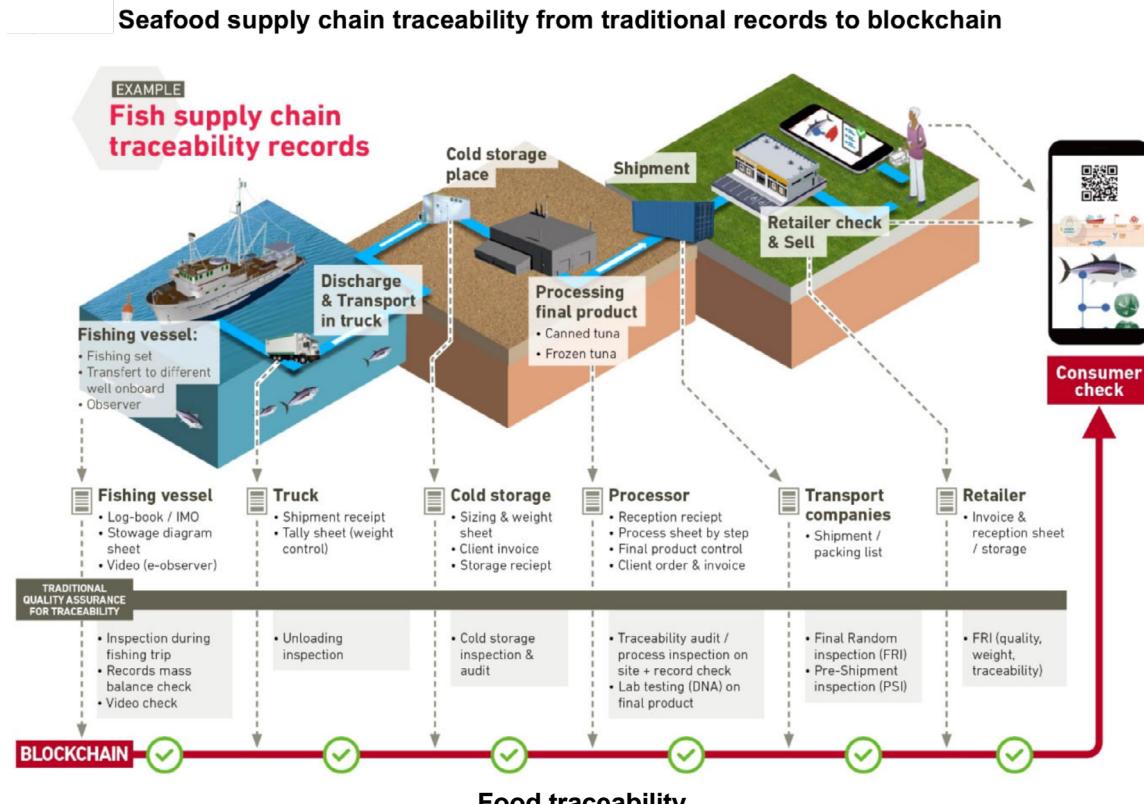
Plastic Bank, dont les activités de collecte de déchets ont cours actuellement au Brésil, en Indonésie, aux Philippines et en Égypte, crée des « écosystèmes de recyclage éthiques dans les communautés côtières et re-traites les matériaux pour les réintroduire dans la chaîne d'approvisionnement mondiale ».

Selon Plastic Bank, l'équivalent de 41 000 tonnes de plastique auraient été collectées au 26 janvier 2022. 38 000 personnes seraient enregistrées en tant que collecteurs sur la plateforme. La collecte et le paiement du plastique récupéré leur auraient permis une augmentation de 40 % de leurs revenus. La plateforme est construite par IBM sur Hyperledger Fabric, une blockchain privée et permissionnée, nous empêchant d'avoir accès à leur données.

Quant à Ocean Plastik, il souhaite lancer RPNDEx⁵² courant 2022, une place de marché B-to-B décentralisée qui fournirait aux entreprises de recyclage et aux fabricants de plastique une plateforme unique pour acheter et vendre des granulés de plastique recyclé.

51 « Plastic Bank », IBM, retrieved May 16, 2022, <https://www.ibm.com/case-studies/plastic-bank-systems-linuxone>

52 « Decentralized Marketplace for recycled plastic materials », RPNDex, retrieved May 16, 2022, <https://www.rpndex.com/>



Source : Bureau Veritas. White Paper (2017) in Blaha, F. & Katafona, K. 2020. « Blockchain application in seafood value chains ». FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1207. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8751en> <https://www.fao.org/3/ca8751en/ca8751en.pdf>

Vie aquatique

La pêche et les produits de la pêche font partie, selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) « des denrées alimentaires les plus échangées dans le monde, avec en 2016, environ 35 % de la production mondiale de poisson qui a fait l'objet d'un commerce international⁵³ », dont 60% de la quantité totale provient de pays en développement. Comment s'assurer que les opérations de pêche n'épuisent pas les ressources naturelles ? L'Objectif de

développement durable 14 vise d'ailleurs à offrir « un cadre permettant de gérer durablement les écosystèmes marins et côtiers et les protéger des effets résultats des activités humaines⁵⁴ ».

Plusieurs initiatives blockchain relèvent du domaine de la traçabilité de la chaîne de valeur des produits de la pêche, parmi lesquelles **Provenance** en Indonésie depuis 2016, **WWF-New Zealand**, **ConsenSys**, **Sea Quest**, **TraSeable Solutions** aux îles Fidji en 2017, **Pacifical**, **Atato Pacific** en 2018,

53 « Blockchain Application in seafood value chains », Francisco Blaha, Kenneth Katafona, FAO, 2020, <https://www.fao.org/3/ca8751en/CA8751EN.pdf>

54 Objectif de développement durable 14 : Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/oceans/>



OpenSC, WWF- Australia, BCG Digital Ventures Australia en 2019, Bumble Bee Foods en mars 2019, Fishcoin en 2018, Sustainable Shrimp Partnership en Equateur en mai 2019. La totalité de ces expérimentations assure la traçabilité du thon *via* une blockchain privée, sauf **Pacifical qui a développé une plateforme sur la blockchain Ethereum.** La promesse de ces initiatives est résumée par le Bureau Veritas à travers le schéma en page précédente.

Le chapitre « Agriculture et alimentation » est consacré à la traçabilité alimentaire et la traçabilité des produits de la pêche.

Eau et assainissement

Parce que 2,2 milliards de personnes n'ont pas accès à une eau potable gérée de manière sûre, et plus de 4,2 milliards de personnes n'ont pas accès à un système d'assainissement, l'Objectif de développement durable 6 vise « *l'accès universel et équitable à l'eau potable, à l'hygiène et à l'assainissement d'ici 2030, en particulier pour les populations vulnérables. Il appelle également à une gestion durable de cette ressource, et mentionne la réduction du nombre de personnes souffrant de la rareté de l'eau. Cet objectif intègre la notion de gestion transfrontalière de cette ressource, essentielle à la gestion durable mais aussi favorable à la paix et à la coopération*

⁵⁵ ».

Selon Therese Flapper, *associate principal - Infrastructure and Water* chez Arup, bureau d'études et de conseil en ingénierie britannique, « *les blockchains sont une technologie idéale pour suivre les transactions et les activités de mise en conformité dans le domaine de l'eau. Les régulateurs, les utilisateurs d'eau et toutes les parties prenantes disposent de la même copie des informations relatives aux transactions et à la conformité de l'eau sur l'ensemble d'un réseau d'eau, sans aucune divergence*

⁵⁶ ».

Plusieurs initiatives blockchain sont en cours d'expérimentation dans le domaine de l'assainissement et de la gestion

⁵⁵ Objectif de développement durable 6 - Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau, <https://www.agenda-2030.fr/17-objectifs-de-developpement-durable/article/odd6-garantir-l-acces-de-tous-a-l-eau-et-a-l-assainissement-et-assurer-une>

⁵⁶ « Blockchain and the built environment.Version 1.2 », ARUP, February 2019, <https://www.arup.com/>

de l'eau, pour notamment remettre en question les systèmes centralisés détenus et gérés par une seule entité, qu'elle soit privée ou publique, ou remédier à la complexité des marchés de l'eau reposant sur de trop nombreux intermédiaires. D'autres initiatives fléchent les investissements en crypto-actifs vers des projets de gestion de l'eau.

Le marché de l'eau implique souvent de nombreux intermédiaires. D'où cette idée de mettre en place des *smart contracts** afin de gérer de manière rapide l'approvisionnement, la livraison et la facturation de l'eau, y compris dans un contexte changeant, par exemple en cas de sécheresse. Les promoteurs de ces initiatives mettent en avant la transparence de la production et des transactions pour tous les utilisateurs d'un réseau d'eau. Cela favorise l'engagement et la responsabilité des parties prenantes, tout en permettant de se passer d'un certain nombre d'intermédiaires, ou tout du moins d'automatiser de nombreux processus manuels particulièrement chronophages.

Le cas de l'Australie illustre les problématiques que rencontrent les marchés d'échange de l'eau dès lors qu'ils sont gérés de manière relativement opaque.

Le marché d'échange d'eau le plus actif en Australie est celui du marché du bassin de Murray-Darling (MDB), où 97 % de tous les échanges d'allocations et 77 % des échanges de droits sont effectués⁵⁷. A chaque sécheresse, ce marché est notamment critiqué « *pour son manque d'information sur qui négocie quelles ressources et qui bénéficie finalement de ces échanges*⁵⁸ ».

En 2020, **Civic Ledger** a collaboré avec l'agence gouvernementale Cooperative Research Centre for Developing Northern Australia (CRCNA) pour tester la tenue du système d'approvisionnement en eau de Mareeba-Dimbulah dans l'extrême nord du Queensland sur une blockchain publique. Dans cette seule région, il existe « *neuf textes législatifs et plans opérationnels qui régissent le commerce de l'eau, de multiples agences qui réglementent et exploitent le réseau d'eau, et 2 000 utilisateurs d'eau*⁵⁹ ». **Water Ledger** a été construit sur la blockchain Ethereum et utilise la norme ERC 1753 - *Smart Contract Interface for Licences*⁶⁰ afin de gérer la délivrance de licences et de permis, jusqu'alors entièrement manuelle, s'appuyant sur du papier et disséminée entre de multiples entités. Ces licences ont été dématérialisées sous la forme de *smart contracts** permettant à chacun d'interagir au sein d'un marché pair-

57 « Member Spotlight: Civic Ledger, Digitally Transforming Water », June 10, 2020 Fintech Australia Newsroom Spotlight <https://www.fintechaustralia.org.au/member-spotlight-civic-ledger-digitally-transforming-water/>

58 « Blockchain and the Built Environment », February 2019 Version 1.2, <https://www.arup.com/>

59 « How distributed ledger technology is revolutionizing water markets », Katrina Donaghy, Fraser MacLeod, WeForum, June 22, 2021, <https://www.weforum.org/agenda/2021/06/distributed-ledger-technology-water-markets>

60 « EIP-1753: Smart Contract Interface for Licences », Ethereum Improvement proposals, retrieved May 16,



à-pair d'échange de l'eau. Le délai de réalisation d'une transaction est ainsi passé de 90 jours à moins de 7 jours après la mise en place de Water Ledger.

De plus, en utilisant la norme ERC 1753⁶¹ pour les *smart contracts**, les règles d'affectation de l'eau, lorsqu'elle

vient notamment à manquer, peuvent être mises à jour en temps réel par les autorités publiques pour « *l'affecter en priorité à un usage domestique*⁶² » explique Katrina Donaghy, CEO de Civic Ledger.

2022, <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-1753>

61 Cette proposition d'amélioration d'Ethereum (Ethereum Improvement Proposal - EIP) propose une norme Ethereum pour la délivrance de licences, permis et subventions (Licences), <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-1753>

62 « How distributed ledger technology is revolutionizing water markets », Katrina Donaghy, Fraser MacLeod, WeForum, June 22, 2021, <https://www.weforum.org/agenda/2021/06/distributed-ledger-technology-water-markets>

ENJEUX ET QUESTIONS

Quelque 63 initiatives actives à ce jour s'inscrivent explicitement dans la lutte contre le réchauffement climatique et la préservation de l'environnement. C'est dire si s'intéresser aux blockchains et à l'environnement n'est pas un oxymore. Le mécanisme de consensus de la preuve de travail*, utilisé par les blockchains de première génération comme Bitcoin ou Ethereum, repose sur une dépense énergétique afin de sécuriser les transactions sur le réseau.

Des initiatives blockchain, comme **Toucan Protocol** ou **KlimaDAO** viennent ainsi fluidifier les **marchés volontaires de carbone traditionnels** qui font l'objet d'un certain nombre de critiques^{1,2}. En effet, les émetteurs de crédits

carbone, comme Verra ou Gold Standard, n'offriraient pas de méthodologie suffisamment robuste pour démontrer sans ambiguïté l'impact réel des projets leur permettant de générer des crédits carbone. La pérennité de projets de séquestration de carbone sur de longues périodes, allant parfois jusqu'à vingt ans³ fait également l'objet de critiques.

Par exemple, les réductions des émissions dues à la déforestation et à la dégradation REDD et REDD+ ont été inventées et lancées en 2011, sous l'impulsion de l'ONU, pour financer des projets de conservation dans les pays en développement, dans le but d'atténuer le changement climatique⁴. Or, comme l'explique Greenpeace « *les programmes de déforestation*

1 « Carbon offsets used by major airlines based on flawed system, warn experts », Patrick Greenfield, May 4, 2021, <https://www.theguardian.com/environment/2021/may/04/carbon-offsets-used-by-major-airlines-based-on-flawed-system-warn-experts>

2 « Carbon offsets are going primetime and they're not ready » Tim McDonnell, May 20, 2021, <https://qz.com/2009746/not-all-carbon-offsets-are-a-scam-but-many-still-are/>

3 « How our partner Wildsense monitors carbon sink restoration from space », CarbonABLE, June 3, 2022, <https://carbonable.medium.com/how-our-partner-wildsense-monitors-carbon-sink-restoration-from-space-86e3a4ca759>

4 REDD+ s'appuie sur des approches politiques et un système de mesures d'incitation positives pour réduire les émissions provenant de la déforestation et de la dégradation (REDD) et pour aider à la conservation des stocks existants de carbone forestier, à la gestion forestière durable et à l'accroissement des stocks de carbone forestier (+) dans les pays en voie de développement. Source : Interactions FLEGT-REDD+ Note d'information n°2 Janvier 2011. Proforest avec les contributions de représentants officiels de la Commission européenne et des Etats membres, du gouvernement de Norvège et des représentants de FCPF et de l'ONU- REDD. <https://europa.eu/capacity4dev/file/10546/download?token=RvEfqdVx>



évitée génèrent et vendent des crédits carbone en fonction de la quantité de déforestation qu'ils prétendent empêcher. Pour calculer ces économies de carbone, ils essaient de prédire l'ampleur de la déforestation qui aurait lieu si le projet n'existe pas⁵ ». Ces calculs hypothétiques s'avèrent très fragiles dès lors qu'il s'agit de vérifier sur le terrain la véracité de ces compensations carbone.

Or les crédits carbone sont entre-temps générés et vendus à des entreprises, ce qui remet en cause l'efficience même de ce type de mécanisme. L'analyse la plus récente en la matière, menée par Unearthed, la branche investigation de Greenpeace, accompagnée du média anglais *The Guardian* et de l'ONG allemande SourceMaterial ont analysé en 2021 « *dix projets de compensation de la déforestation réduite sur lesquels s'appuient les grandes compagnies aériennes dans le cadre de leurs engagements de réduction des émissions et qui sont certifiés par Verra, le plus grand émetteur de crédits carbone au monde⁶* », en s'appuyant notamment sur l'analyse d'experts,

de la documentation des projets et sur l'analyse par satellite de la déforestation dans et autour des projets soutenus par British Airways, easyJet et United Airlines. Et leur verdict est pour le moins très mitigé⁷.

Si l'intérêt de tokeniser des crédits carbone à partir des registres internationaux de type Verra ou Gold Standard est de les inclure dans la Finance décentralisée, certains projets blockchains, comme **Nori**, visent à vérifier de manière plus fine, sur le terrain, l'efficience de ces derniers, notamment par l'utilisation d'oracle décentralisé comme **Chainlink**.

La promesse de ces initiatives concerne les activités d'agriculture régénératrice, de reboisement ou encore de reforestation, comme **Open Forest Protocol**, **GainForest** ou **Eco-Cacao via Regen Network**, sûrement plus simple à mesurer et à quantifier que des projets d'évitement de déforestation. Ces projets s'inscrivent dans la continuité du marché du carbone et ne sont donc pas exempts des critiques émises à l'encontre de ces mécanismes financiers.

⁵ « Top airlines' promises to offset flights rely on 'phantom credits' », Joe Sandler Clarke, Luke Barratt, May, 4, 2021, <https://unearthed.greenpeace.org/2021/05/04/carbon-offsetting-british-airways-easyjet-verra/>

⁶ *Ibid.*

⁷ *Ibid.*

L'usage de registres distribués et publics pourrait-il véritablement améliorer les déficiences des marchés carbone ?

D'autres projets, notamment liés au marché de l'eau comme en Australie, démontrent en revanche l'efficacité de la mise en place d'un registre distribué sur un marché complexe réunissant de nombreux participants. Il apporte plus de transparence, supprime des intermédiaires et fluidifie les échanges. Les initiatives menées dans le domaine des services publics (Voir Chapitre Gouvernement et démocratie) fonctionnent sur le même schéma

Encore une fois, il ne s'agit pas de rajouter une dimension blockchain à des projets pour qu'il gagnent en efficacité mais de s'interroger

sur la manière dont l'usage d'un registre commun permet de pallier à l'asymétrie d'information entre les différents acteurs de chaînes de valeur complexes.

Comme les blockchains sont un outil dont l'intérêt ne dépend que de l'usage qui en est fait, aucun de ces projets ne peut garantir la véracité et l'exactitude des informations partagées dans un registre distribué.

De cet écueil, tenant à la qualité des données, découle l'intérêt ou l'inutilité de ces projets dont le manque de maturité ne nous permet pas encore de dire s'ils versent dans un nouveau « greenwashing » ou bien sont les prémisses de changements plus profonds participant à la résilience climatique.



CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT & LOGISTIQUE

CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT ET LOGISTIQUE

Nombre de projets dans la base : 86

Nombre de projets actifs : 60

Nom des projets actifs : Ambrosus ; Arc-net ; Arianee ; Aware ; BanQu ; Blockfreight ; CargoChain ; Chainvine ; Chronicled ; Circularise ; CircularTree ; Clara Diamond Solutions ; CobaltBlockchain ; Compellio Registry ; Decapolis ; Devery ; Dibiz ; Emurgo ; Everledger ; Evertrace ; Faircoin ; FAO charcoal in Ivory Coast ; FAO farming in Papua New Guina ; Forest Stewardship Council (FSC) ; Gaiachain ; "GemFair project" ; Genuine Way ; KYG Trade Foundation ; Minexx ; Mintrax ; Morpheus ; NutraSign ; Nyala ; Oceanus Foundation ; Open Packaging Network OPN ; OriginTrail ; OURZ ; Ownest ; Provenance ; RCS Global and the Better Sourcing Program ; Re | Source ; Realchain ; Reason ; Retraced ; S3FOOD ; Sandblock ; ScanTrust ; Skuchain ; SUKU ; TextileGenesis ; The Egyption Cotton project - UNECE & UNIDO ; The Other Bar - UN blockchain chocolate ; Tracr ; TradeLens (IBM and Maersk) ; Transparency One ; Transparent Path ; VeChain foundation ; VerifiK8 ; Wave ; Yave Blockchain Platform ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à report@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

La traçabilité d'une chaîne logistique est, selon la l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), « *la capacité de retracer l'historique, l'application ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées¹* ». Aujourd'hui, toutes les entreprises dont l'activité dépend de chaînes d'approvisionnement internationales sont confrontées, selon la Commission économique pour

l'Europe des Nations Unies (UNECE²), à des problématiques récurrentes parmi lesquelles : (1) Être en mesure de prouver l'origine des marchandises, (2) Optimiser les délais douaniers, (3) Pallier au manque de transparence de chaînes d'approvisionnement, (4) Assurer une résilience de la chaîne d'approvisionnement, (5) Gérer les erreurs dans le traitement et l'audit des paiements, (6) Déjouer les escroqueries

¹ « Blockchain application in seafood value chains. », Francisco Blaha & Kenneth Katafalo, FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1207. Rome, FAO, 2020, <https://doi.org/10.4060/ca8751en>

² United Nations Economic Commission for Europe - UNECE est l'une des cinq commissions régionales du Conseil économique et social des Nations unies, établie en 1947 pour encourager la coopération économique entre les États membres.



basées sur des données, (7) Résoudre des litiges, (8) Dépendre d'un « flux d'informations » qui s'arrête au point de vente.

En plus d'une approche économique, une chaîne d'approvisionnement s'interprète également selon ses externalités sociales et environnementales, permettant notamment de s'assurer que le travail des enfants est banni, que les premiers de la chaîne de production, en particulier les plus vulnérables, perçoivent un salaire décent. Quant à la dimension environnementale, elle appréhende plusieurs problématiques parmi lesquelles le gaspillage, la pollution générée, de la production à la consommation, l'empreinte carbone ou encore le commerce illégal de produits. Les acteurs des chaînes logistiques sont de plus en plus conscients des enjeux climatiques inhérents au transport des biens et des marchandises. Or l'impact environnemental d'une chaîne logistique repose sur le partage d'un certain nombre d'informations, à la fois financières et extra-financières, dont seul l'interopérabilité pourrait en assurer la cohérence générale. Les enjeux climatiques devraient inciter l'ensemble des acteurs à se conformer à des référentiels communs stimulant une « coopétition », mélange de coopération et de compétition qui dépasse l'intérêt de chaque entité prise séparément.

L'Objectif de développement durable 17 intègre le commerce international dans le cadre du renforcement des moyens

mis en œuvre par le Partenariat mondial pour le développement durable. Il vise à « *promouvoir un système commercial multilatéral universel, réglementé, ouvert, non discriminatoire et équitable sous l'égide de l'Organisation mondiale du commerce, notamment grâce à la tenue de négociations dans le cadre du Programme de Doha pour le développement* ». De sa mise en oeuvre s'articulent plusieurs autres Objectifs de Développement Durable, parmi lesquels l'agriculture durable (ODD 2), les emplois décents (ODD 8), la consommation et production durable (ODD 12), l'exploitation durable des ressources marines (ODD 14), la protection de la faune et de la flore terrestre (ODD 15), la justice et la paix à travers des institutions efficaces, responsables et ouvertes (ODD 16).

Sous l'influence du numérique et de l'internet des objets (IoT), la gestion de flux logistiques s'appuie dorénavant sur une large gamme d'outils de planification, de suivi, de fabrication, d'optimisation des stocks, de transport et d'entreposage. Tout comme la gestion des données s'y rattache, et dont l'ultime objectif, pour une entreprise, serait de **suivre au plus près, idéalement en temps réel, le mouvement perpétuel des données relevant de son activité**.

La promesse des blockchains est de fournir « *une base de données décentralisée contenant des blocs séquentiels, liés par cryptographie, de transactions d'actifs signés*

numériquement, régis par un modèle de consensus³ », permettant ainsi de gérer des flux d'informations et de transactions de manière sécurisée et automatisée entre un réseau d'acteurs. Son application dans le secteur de la logistique et de la traçabilité pourrait sembler évidente. Car les chaînes logistiques modernes impliquent de plus en plus d'acteurs qui ne se connaissent pas mais interagissent en permanence, contexte opportun pour gérer la confiance des informations enregistrées à chaque étape de leurs interactions à travers un registre distribué.

Aujourd'hui, une chaîne logistique internationale reste opaque pour bon nombre d'entreprises qui en composent la chaîne de valeur. Comme l'explique Susanne Köhler, de l'Université d'Aalborg au Danemark, « *souvent, les entreprises ne connaissent pas leurs fournisseurs de niveau 3 ou 4, avec une visibilité limitée au-delà du premier niveau⁴* ».

La mise en œuvre de registres distribués sur une chaîne logistique vise à garantir la transparence et l'intégrité d'informations et de données par chacun des acteurs de la chaîne de valeur, qui, une fois enregistrées, ne pourront plus être modifiées, et dont l'accès, pour chacune des parties prenantes, devient aisément vérifiable et traçable. Une alternative aux systèmes de données cloisonnés où

chaque acteur détient des informations dont le partage ou le transfert avec d'autres parties est complexe, lacunaire et chronophage.

C'est en tout cas la promesse de nombreuses initiatives liées à la traçabilité dans des secteurs industriels aussi variés que l'extraction de minéraux (diamants, terres rares, cobalt, tantale etc.), les exploitations forestières, les cultures de cacao, de café, de coton ou encore la traçabilité des produits de l'agriculture et de la pêche (voir Chapitre Agriculture et alimentation). Des projets blockchains de gestion de la chaîne d'approvisionnement comme **Emurgo**, la branche commerciale de la blockchain publique **Cardano**, fondée à Singapour en juin 2017, **Ambrosus**, **CargoChain**, **CargoX** ou encore **Skuchain** proposent notamment de réduire les formalités administratives, dont beaucoup passent encore par le papier.

Et s'aligner au passage sur la Loi type de la Commission des Nations Unies pour le droit du commerce international (CNUDCI) sur les documents transférables électroniques du 13 juillet 2017, qui vise ainsi à permettre « *l'utilisation légale de documents transférables électroniques aux niveaux national et international* ». Cette loi type prévoit en effet un principe de neutralité technologique « *ce qui permet l'utilisation de différents modèles qui peuvent être fondés sur un registre, des jetons, un registre distribué ou une autre technologie⁵* ».

3 « Conceptualizing blockchains: characteristics & applications. », Karim Sultan, UmarRushi, Rubinar Lakhani, 11th IADIS International Conference Information Systems, 2018.

4 « Unfinished Paths—From Blockchain to Sustainability in Supply Chains. », Susanne Köhler, Massimo Pizzol and Joseph Sarkis, Frontiers in Blockchain, 2021.

5 « Loi type de la CNUDCI sur les documents transférables électroniques », Commission des Nations



Selon Eric A. Caprioli, avocat⁶, « lorsqu'on parle actuellement de registre, la solution du registre distribué incarnée par la blockchain, semble le moyen le plus pertinent en terme opérationnel puisqu'elle permet de remplir les fonctionnalités liées à la fiabilité et au contrôle ».

En octobre 2021, les pays du G7 se sont d'ailleurs engagés à modifier leurs législations⁷ et à s'aligner sur la loi type de la Commission des Nations Unies sur les documents électroniques transférables. Mais le passage du papier à un registre décentralisé, ou même l'émergence d'Organisations autonomes décentralisées (DAO*) à l'échelle mondiale est encore lointain.

Agriculture & pêche

De nombreuses initiatives blockchains visent à assurer une transparence des chaînes d'approvisionnement, notamment dans la traçabilité des produits alimentaires, issus de l'agriculture ou de la pêche, ou encore dans l'orchestration de mécanismes de marchés agricoles. Il existe également des projets dans les domaines des assurances liés à l'agriculture comme Etherisc (voir Chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable»).

Créé en 2016, **TE-FOOD** est basé à Budapest en Hongrie et à Albstadt en Allemagne. L'entreprise revendique « plus de 6 000 entreprises clientes, 10 000 travailleurs de la chaîne d'approvisionnement formés et 400 000 transactions commerciales par jour⁸ ». TE-FOOD développe un écosystème « intégrant tout à la fois les entreprises de la chaîne d'approvisionnement, les consommateurs ainsi que les autorités, afin d'améliorer la sécurité alimentaire, éliminer les fraudes alimentaires et réduire les coûts des entreprises de la chaîne d'approvisionnement ». L'entreprise a développé une blockchain publique permissionnée*⁹ constituée d'une centaine de nœuds répartis dans

Unies pour le droit commercial international, Publication des Nations Unies, 8 juillet 2017, https://uncitral.un.org/fr/texts/e-commerce/modellaw/electronic_transferable_records#:~:text=La%20Loi%20type%20sur%20les%20documents%20transf%C3%A9rables%20%C3%A9lectroniques%20s'appuie,CNUDCI%20sur%20le%20commerce%20%C3%A9lectronique

6 Eric A. Caprioli, avocat à la Cour de Paris, docteur en droit Société d'avocats membre du Réseau JurisDéfi
7 « Des documents transférables électroniques à la blockchain », Usine-digitale.fr, 9 décembre 2021, <https://www.usine-digitale.fr/article/des-documents-transferables-electroniques-a-la-blockchain.N1167847>

8 « What can you achieve with TE-Food ? », TE FOOD, retrieved May 31, 2022, <https://te-food.com/>

9 Les mots marqués d'un astérisque renvoient vers le glossaire.

TE-FOOD et la gestion de la Covid 19¹

En 2020, TE-FOOD a noué un partenariat avec Eurofins et GE Aviation pour créer TrustOne sur leur blockchain publique.

Eurofins est un groupe international spécialisé dans les services d'analyses médicales qui compte 800 laboratoires répartis dans 50 pays à travers le monde. Eurofins a déployé auprès de ses laboratoires et entreprises clientes en charge de la vaccination de leurs employés, une solution de traçabilité du processus complet, de bout en bout, de la prise de rendez-vous aux résultats de tests de Covid 19.

1 « TE-FOOD, Eurofins, and GE Aviation cooperate to offer end-to-end Covid-19 testing process solution for corporate customers », TE-FOOD, Sep 14 2020, Medium, <https://medium.com/te-food/te-food-eurofins-and-ge-aviation-cooperate-to-offer-end-to-end-covid-19-testing-process-solution-9956b69f388c>



Automatically inform employees about test results



Automatically generate daily testing schedules



Automatically generate downloadable test certificates



Organisation's controllers (or controller terminals) can check the test result compliance of employees at entry



Automatically set and communicate next testing dates



Keep track of test kits and samples wherever they are

différents pays. La blockchain est dite permissionnée parce que seules les entreprises clientes de TE-FOOD sont autorisées à écrire des données dans la blockchain publique. Ces dernières définissent également les informations qu'elles souhaitent rendre publiques, par exemple à destination du consommateur, tout en continuant de bénéficier d'un environnement d'affaires, privé, au sein d'un écosystème à la fois transparent et sécurisé.

Concrètement, une entreprise cliente de la blockchain TE-FOOD identifie de manière unique chacun de ses produits, en conformité avec la nomenclature internationale, gérée à l'échelle mondiale par le GS1¹⁰.

Les données sont ensuite capturées pendant le processus de production et enregistrées au fur et à mesure dans la blockchain publique.

Certains nœuds de la blockchain TE-FOOD sont maintenus par des acteurs de la chaîne logistique et d'autres par des communautés de consommateurs. L'un des grands enjeux concernant la mise en place d'un projet de traçabilité alimentaire concerne la formation des producteurs, des éleveurs et des agriculteurs aux outils numériques, qui requiert une réelle simplicité d'usage.

Mais selon Erik Ároksszállási, CEO de TE-FOOD, « *la technologie blockchain étant transparente au niveau de l'utilisateur, elle ne constitue pas un obstacle à l'adoption.*

10 Le GS1 est l'organisation mondiale de standardisation et de normalisation de langages utilisés dans la chaîne logistique et le commerce, comme le code-barre en une (EAN) ou deux dimensions (QR Code, Datamatrix).



Des milliers d'agriculteurs l'utilisent chaque jour, dont beaucoup sans savoir quelle est la technologie sous-jacente ».

La traçabilité alimentaire ne concerne pas seulement le suivi logistique de denrées agricoles récoltées dans l'hémisphère sud vers des consommateurs de l'hémisphère nord. Le commerce intrarégional en Afrique joue un rôle important dans la réduction de la volatilité des marchés et l'amélioration de la sécurité alimentaire¹¹.

Au Kenya, **Twiga Foods**, - qui veut dire girafe en swahili, donne à voir un autre cas de traçabilité alimentaire apportant une solution à la fragmentation des marchés de détail composés à 90 % de petits détaillants et intermédiaires informels.

L'une des conséquences de la fragmentation de ces marchés de détail est qu'une tonne de tomate récoltée au Kenya coûte environ 100 dollars aux Etats-Unis et 400 dollars au Kenya¹².

Les ménages les plus pauvres consacrent ainsi jusqu'à 50 % de leurs revenus à l'alimentation, alors qu'un américain y consacre en moyenne 6,4 %¹³. C'est de ce constat qu'est parti Twiga Foods en 2014 pour « mettre en place un écosystème

fermé pour le commerce de détail en Afrique, axé sur un accès abordable à la nourriture et aux produits d'épicerie dans les villes¹⁴ ».

Twiga Foods a développé une plateforme de commerce B-to-B visant à simplifier la chaîne d'approvisionnement entre les producteurs de produits frais, les fabricants de produits de grande consommation et les détaillants, en supprimant de nombreux intermédiaires permettant de réduire le coût des aliments pour les consommateurs.

Comment Twiga fonctionne¹⁵ ?

Du côté de l'offre, le plus gros problème auquel les agriculteurs sont confrontés est l'acheminement de leurs produits vers le marché, notamment du fait de leur dépendance vis-à-vis des intermédiaires informels de la chaîne d'approvisionnement. Des courtiers peu scrupuleux profitent de ces difficultés en offrant aux agriculteurs des prix inférieurs à ceux du marché pour leurs produits ou en refusant de négocier avec eux pendant les périodes d'excédent de l'offre. La proposition de Twiga est d'offrir aux agriculteurs un marché garanti et des prix équitables. Twiga traite

11 « Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2016-2025 », OCDE & FAO, Annuel ISSN : 19991150, 2016, <https://doi.org/10.1787/19991150>

12 « Kenya's Twiga raises \$50M to scale food solutions across Africa », Tage Kene-Okafor, techcrunch.com, November 1, 2021, <https://techcrunch.com/2021/11/01/kenyas-twiga-raises-50m-to-scale-affordable-food-solutions-across-africa/>

13 « Consumer Expenditures-2020 », U.S. Bureau of Labor Statistics, Economic News Release, retrieved May 11 2022, <https://www.bls.gov/news.release/cesan.nr0.htm>

14 « Revolutionizing African Retail », Twiga, retrieved May 11, 2022, twiga.com

15 « How Twiga Foods reduces the price of food in Nairobi using technology », Twiga, Lincoln, November 1, 2021, retrieved May 11, 2022, <https://twiga.com/?p=3546>

directement avec les agriculteurs pour répondre à la demande des détaillants et collecte les produits directement dans les fermes. Les agriculteurs sont payés *via* la plateforme d'argent mobile M-Pesa dans les 24 heures suivant la collecte. Selon M. Njonjo¹⁶, Twiga a réduit les pertes post-récolte typiques au Kenya de 30 % à 4 % pour les produits vendus *via* la plateforme Twiga.

Du côté de la demande, Twiga enregistre les commerçants à Nairobi, qui passent ensuite commande auprès d'un représentant commercial ou directement sur l'application Twiga. Twiga expédie les commandes *via* ses véhicules de distribution en 24 heures. Pour optimiser la livraison, Twiga cartographie ses vendeurs à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) et s'appuie sur une plateforme de distribution assortie d'un algorithme d'intelligence artificielle pour savoir qui commande, où les vendeurs se trouvent, quel est l'état de la route et comment organiser au mieux les livraisons pour maximiser l'efficacité. En numérisant et en créant un registre de toutes les transactions, Twiga est également en mesure d'offrir un accès à des produits de crédit par l'intermédiaire de tiers, que ce soit à destination des agriculteurs ou des vendeurs.

IBM a été chargé de développer la plateforme B-to-B basée sur la blockchain Hyperledger Fabric, ainsi que les technologies d'apprentissage automatique et de traitement de données notamment sur le processus de demande de prêt utilisé par les vendeurs qui postulent *via* leur appareil mobile. L'un des algorithmes d'apprentissage automatique sert à prédire la solvabilité des vendeurs « *donnant ainsi aux prêteurs la confiance dont ils ont besoin pour accorder des micro prêts aux petites entreprises*¹⁷ » explique Isaac Markus, chercheur chez IBM qui a participé au projet.

Les processus de la demande de prêt, son acceptation et son remboursement sont enregistrés et traités *via* la blockchain de Twiga Foods en simplifiant considérablement la partie administrative. L'entreprise, qui en est à sa huitième année d'activité, est devenue le plus grand acheteur de produits frais au Kenya, desservant plus de 5 000 agriculteurs et 35 000 commerçants. Twiga Foods a levé un total de 157,1 millions de dollars en 19 tours de table, dont le plus récent a eu lieu en novembre 2021¹⁸, afin notamment de se développer en Afrique de l'Ouest courant 2022.

Dans le seul domaine de la traçabilité alimentaire, nous avons référencé dans la base de données PositiveBlockchain.io quelques 71 projets depuis 2018, dont

16 *Ibid.*

17 « IBM Helps Kenyan Agriculture Flourish On Twiga Blockchain », Steve Kaaru, Cryptobriefing,

December 15, 2018 <https://cryptobriefing.com/ibm-kenya-agriculture-twiga-blockchain/>

18 « Twiga Foods, Crunchbase, retrieved May 11, 2022, <https://www.crunchbase.com/organization/twiga-foods>



34 sont actifs à ce jour et avons consacré un chapitre entier à ce sujet¹⁹.

Matières premières

La traçabilité des matières premières fait l'objet de nombreuses expérimentations de la part d'organisations de tout type, de petites start-ups à de grandes entreprises bien établies, avec parfois l'aide ou le support d'ONG ou Organisations internationales, notamment dans le domaine de l'extraction de minéraux, la coupe de bois, la culture de cacao, de café ou encore de coton.

Minerais

Depuis le milieu des années 2010, l'industrie minière s'est intéressée aux technologies de certification basées sur le numérique dans les chaînes d'approvisionnement en minéraux, « *s'ajoutant à une pléthore d'instruments réglementaires et d'initiatives de gouvernance censés introduire la responsabilité dans une industrie ternie par les violations des droits de l'homme, le travail des enfants et les minéraux utilisés pour financer des conflits*²⁰ ».

Loin de l'image que l'on pourrait avoir des entreprises d'extraction minière, ce sont avant tout des entreprises pilotées par la donnée (*data-driven companies*), « *des*

*données géologiques et économiques pour déterminer si l'opération en vaut la peine ; des données environnementales pour surveiller et atténuer l'impact ; et des données financières pour tenir les investisseurs au courant*²¹ ». Aujourd'hui, ces données, largement disparates, sont traitées manuellement à travers un ou plusieurs logiciels de planification des ressources (*Enterprise Resource Planning - ERP*). Certaines sont enregistrées à l'aide de tableaux Excel voire même recopiées à partir de supports papier, à intervalles irréguliers et selon la venue d'auditeurs externes, missionnés pour vérifier la cohérence des informations.

La proposition de valeur d'implémenter une blockchain publique pour suivre une activité d'extraction minière est triple. Les données sont partagées en temps réel entre tous les acteurs impliqués sur la chaîne de valeur. Elles sont consignées dans un registre distribué et ne peuvent plus être modifiées, ce qui permet à la fois de repérer les erreurs humaines et de lutter contre la fraude. Enfin, la mise en œuvre d'une blockchain optimise les coûts et les délais en en se passant d'un éventuel tiers de confiance chargé de vérifier ces données.

BetterChain, Circulor, Clara Diamond Solutions, CobaltBlockchain, Everledger,

[foods/company_financials](#)

19 Voir chapitre « Agriculture & alimentation ».

20 « Governing extractive industries. Politics, histories, ideas », Abdul-Gafar Abdulai, Anthony Bebbington, Denise Humphreys Bebbington, Marija Hinfelaar, Cynthia Sanborn (Eds.), Oxford Univ. Press, Oxford , 2018.

21 « Data-driven, data-dependent: Blockchain in the Mining Industry », Christian Ecker, MineSpider, June 8, 2021, minespider.com/blog.

GemFair project, Minexx, Mintra, Re | Source, Tracr ou encore **RCS Global** sont quelques-unes de ces nombreuses initiatives blockchain ayant pour objectif de rendre transparente les activités des industries minières.

Il semblerait toutefois que la plupart de ces projets conservent une gouvernance centralisée. La blockchain déployée sert davantage à optimiser les logiciels de planification des ressources (ERP) existants plutôt qu'à véritablement créer un écosystème distribué de données publiques, propre aux spécificités d'un secteur d'activité. Dans le domaine de l'énergie, l'Energy Web Foundation a d'ailleurs déjà opté pour cette approche (voir chapitre Énergie).

Beaucoup de projets consistent à développer une blockchain privée, à l'instar de **Mimosi (PeerLedger)** ou **Circulor**. Mimosi travaille depuis 2016 à créer un système de traçabilité associant une solution de *cloud computing* dont les données sont enregistrées dans une blockchain privée construite avec Hyperledger Fabric*. Une intelligence artificielle, des données de localisation géographique (GPS) et des composants de l'internet des objets (IoT), y sont associés afin que les parties prenantes, sur le terrain, interagissent au travers d'interfaces web. N'étant ouverte qu'à ceux qui l'ont mise en place, l'usage d'une

blockchain privée sert essentiellement à optimiser les coûts et les délais. **Circulor**, fondé en 2017 a conduit un premier pilote sur la traçabilité du tantale en provenance du Rwanda en 2018, en partenariat avec le Conseil rwandais des mines, du pétrole et du gaz, et a depuis développé un système d'information basé sur une blockchain privée et permissionnée. Depuis, Circulor s'est développé pour assurer « *une transparence totale sur le flux de carbone des matériaux tout au long de la chaîne d'approvisionnement, des matières premières aux fabricants eux-mêmes*²² ». Doug Johnson-Poensgen, CEO de Circulor explique ainsi que « *de nombreux constructeurs automobiles utilisent notre technologie pour démontrer l'approvisionnement responsable de matières premières essentielles, notamment le nickel (associé à des résidus en eaux profondes dans l'océan Pacifique) et le lithium (qui suscite des inquiétudes quant aux sources d'eau dans des endroits arides comme le désert chilien d'Atacama)* ». La solution s'interface via des API* avec les logiciels des entreprises clientes, parmi lesquelles BHP, FMG, SGS ou encore Volvo Cars, Daimler, Jaguar ou Land Rover²³.

De Beers, le conglomérat diamantaire sud-africain affirme avoir enregistré plus de 400 000 diamants sur une blockchain privée permissionnée²⁴

22 « Tracing the supply chain with Circulor », Kim Zou and Sophie Purdom, Climate Tech VC, June 11, 2021 <https://climatetechvc.substack.com/p/tracing-the-supply-chain-with-circulor?ss=r>

23 « Trafigura and Circulor to provide carbon emissions tracking and traceability via blockchain to nickel and cobalt supply chains », Circulor, retrieved May 11, 2022, circulor.com

24 « Blockchain technology to power De Beers' diamond production », Gareth Jenkinson, May 6, 2022,



développée sur Ethereum appelée **Tracr**, qui compte une trentaine de participants de l'industrie du diamant. La plateforme permet d'enregistrer « *la taille, la couleur, la clarté et le carat d'un diamant, puis le suit tout au long de la chaîne d'approvisionnement*²⁵ », garantissant à leurs clients « *l'origine et l'authenticité de la pierre par un simple scan au fur et à mesure qu'elle est extraite, taillée, polie et vendue*²⁶ ».

Minespider développe depuis 2017 une blockchain publique permissionnée²⁷, qui s'adresse spécifiquement à la traçabilité des chaînes d'approvisionnement de matières premières. Le système utilise la blockchain publique Ethereum pour maintenir le registre des transactions. Quant à la documentation légale et contractuelle, pour éviter de la conserver dans une base de donnée centralisée, Minespider utilise la solution de stockage de fichiers décentralisés IPFS*. Trois types de certificats numériques sont créés, selon que les données doivent être publiques, disponibles uniquement pour les membres de la chaîne d'approvisionnement, ou encore

privées entre le client et l'entreprise²⁸. Le système permettrait d'être utilisé pour « *communiquer des données essentielles sur la provenance, la sécurité des travailleurs, les émissions de carbone, l'utilisation de l'eau et tout autre point de données important, le tout sans contrôle centralisé des données*²⁹ ». Une manière de se mettre en conformité avec le règlement européen applicable depuis janvier 2021, appelé également règlement des minerais de conflit, qui impose aux importateurs de d'étain, de tungstène, de tantalum et d'or (3TG) une obligation de vigilance afin de vérifier que les minerais ne proviennent pas d'une zone touchée par un conflit ou à la géopolitique instable³⁰.

Mais de l'aveu de bon nombre de professionnels du secteur, l'intérêt de ces **initiatives blockchains dans le domaine de l'extraction minière est encore très immature**. En avril 2021, lors du 14^e Forum annuel de l'OCDE sur les chaînes d'approvisionnement responsables de minerais (*14th Forum on Responsible Mineral Supply Chains*), de nombreux participants auront retenu³¹

<https://cointelegraph.com/news/blockchain-technology-to-power-de-beers-diamond-production>

25 « Forbes Blockchain 50 2022, Tracr », February 8, 2022. <https://www.forbes.com/sites/michaeldelcastillo/2022/02/08/forbes-blockchain-50-2022/?sh=40f8e0b831c6>

26 *Ibid.*

27 « Data-driven, data-dependent: Blockchain in the Mining Industry », Christian Ecker, Minespider, June 8, 2021 <https://www.minespider.com/blog/data-driven-data-dependent-blockchain-in-the-mining-industry>

28 « Minespider partners with Google for tin blockchain traceability », Ledger Insights, November 23, 2020, [ledgerinsights.com.](https://ledgerinsights.com/)

29 « Lead the Shift to sustainable supply chains, MineSpider, retrieved May 11, 2022, <https://www.minespider.com/>

30 « Minespider secures EIT RawMaterials Booster funding to develop responsible mineral tracking », Eit Raw Materials, September 22, 2020, <https://eitrawmaterials.eu/minespider-secures-eit-rawmaterials-booster-funding-to-develop-responsible-mineral-tracking/>

31 « Recap: OECD Forum on Responsible Mineral Supply Chains », Peerledger, retrieved April 27, 2022, <https://www.peerledger.com/>

que le développement de chaînes d'approvisionnement exemplaires, responsables et transparentes nécessite l'adhésion de tous les acteurs à un même écosystème de données plutôt que chacun travaille de son côté sur un système propriétaire fermé, même s'il est ou tente d'être interopérable avec celui du voisin.

La Responsible Minerals Initiative³² (RMI) a notamment rédigé dès 2018 le « RMI Blockchain Guidelines »³³, mise à jour en 2020, pour orienter leurs membres vers la mise en place d'une blockchain pour tracer leur activité. Le document préconise entre autres que « *la solution basée sur la blockchain doit être décentralisée, le terme «décentralisé» faisant référence à l'absence d'un lieu unique où les données sont regroupées ou contrôlées* ».

Or des projets de blockchains privées et permissionnées se targuent de participer l'élaboration du RMI Blockchain Guidelines, ce qui n'augure pas d'innovations majeures compte tenu de la nature centralisée des expérimentations qui se trouvent d'ailleurs rapidement confrontées à des problèmes d'interopérabilité.

32 « Fondée en 2008 par des membres de la Responsible Business Alliance et de la Global e-Sustainability Initiative, la Responsible Minerals Initiative est devenue l'une des ressources les plus utilisées par les entreprises de divers secteurs d'activité qui s'intéressent aux questions d'approvisionnement responsable en minéraux dans leurs chaînes d'approvisionnement. Plus de 400 entreprises et associations de plus de 10 secteurs participent aujourd'hui à la RMI, et nous collaborons régulièrement avec d'autres programmes et initiatives complémentaires dans ce domaine ». In « About Responsible Minerals Initiative », Responsible Minerals Initiative, retrieved May 11 2022, responsiblemineralsinitiative.org/about/rmi-initiative/

33 « Blockchain Guidelines », Responsible Minerals Initiative, retrieved May 11 2022, responsiblemineralsinitiative.org/

34 « Digital extraction: Blockchain traceability in mineral supply chains », Matthew Archer, Filipe Calvão, Political Geography Volume 87, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102381>.

Comme l'expliquent les chercheurs Filipe Calvao et Matthew Archer, ces initiatives blockchain tendraient même à « *accentuer le fossé entre l'aspiration technologique d'une information de traçabilité de la chaîne d'approvisionnement entièrement numérisée, menée par les multinationales, et les conditions de travail des petits mineurs et des entreprises locales et nationales, laissées largement en dehors du champ de ces initiatives pour des raisons d'opportunité politique, de coût économique ou de conception technologique* »³⁴.

Ces mêmes chercheurs se sont intéressés à la traçabilité du cobalt en République démocratique du Congo (RDC), qui détient à lui seul 70% des réserves mondiales et dont l'extraction est menée à la fois par des mines industrielles et des mines artisanales. Leur constat est le suivant : il n'y a pas de volonté politique locale pour implémenter un système de traçabilité, notamment dans les mines artisanales. En effet, « *comme les mineurs artisanaux ne reçoivent pas de salaire et sont payés pour le minerai extrait selon des prix établis par les sociétés minières, les coûts de la surveillance et de la certification numériques sont potentiellement déplacés vers les mineurs eux-mêmes* ».



De plus, ces initiatives blockchain ne résolvent en rien les éventuels problèmes de corruption qui consistent à renseigner de fausses informations dans un tel système. Enfin, il existerait une « *une suspicion générale à l'égard de toute tentative de suivi et d'enregistrement numérique des transactions de cobalt* », de la part des mineurs artisanaux.

La principale raison de cet échec est que ces initiatives blockchains, développées par des *startups* ou des groupes industriels sont essentiellement adressées au consommateur.

Aucun projet ne vient réellement changer le paradigme actuel de l'extraction minière, impliquant les mines artisanales, l'ensemble des mineurs artisanaux et leurs conditions de travail, ainsi que les impacts sociaux et environnementaux notamment auprès des communautés vivant autour des sites d'extraction.

Une problématique qui se retrouve dans le domaine de la traçabilité de chaînes agricoles, qui s'intéressent au produit de l'agriculture plutôt qu'au producteur ou à l'agriculteur, premier de la chaîne de valeur. Les chercheurs en concluent que « *le récit des blockchains en tant que plates-formes ouvertes et démocratiques, qui favorisent la transparence dans les chaînes de matières premières mondiales ravagées par les conflits diverge des projets réels de blockchain* développés par l'industrie minière pour répondre à la demande croissante des consommateurs en matière de traçabilité³⁵ ».

³⁵ Ibid.

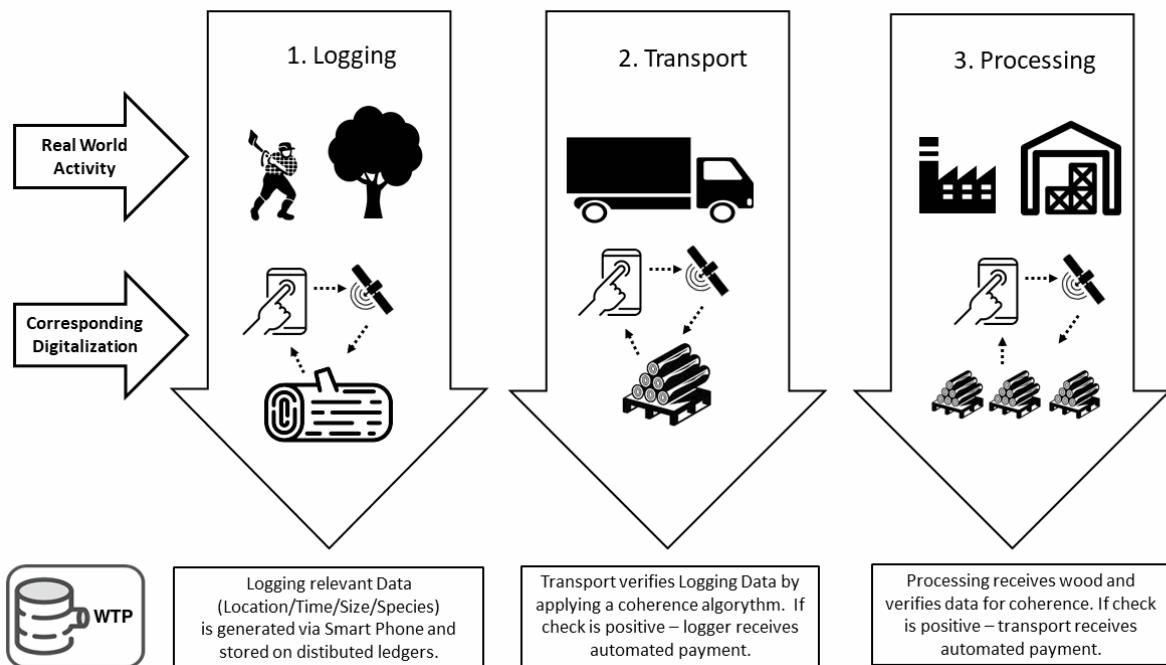
³⁶ « In pictures: Illegal logging in Peru », BBC, September 4, 2014, <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-28926270>

Bois

Le domaine de la transformation du bois et de la préservation des forêts fait également l'objet d'initiatives blockchains, notamment dans la région de l'Amazonie péruvienne avec **Wood Tracking Protocol**, ou en Côte d'Ivoire, avec **Charcoal Trace**.

Il y a dix ans, la Banque Mondiale estimait que « *80% des exportations de bois du Pérou sont illégales*³⁶ » dans un pays couvert à 53% par des forêts dont la majorité se situe dans la région de l'Amazonie, classée en forêt primaire. La Defensive Driving Center (DDC), basée au Pérou depuis 2009, est un centre de formation agréé par le Conseil National de Sécurité des Etats-Unis offrant des certificats internationaux.

Il a réalisé, en 2018, une preuve de concept ainsi qu'un prototype informatique de blockchain avec pour objectif de « *numériser les traces écrites des opérations de transformation du bois dans la région amazonienne et les mettre sur une blockchain publique* » : Wood Tracking Protocol (WTP).



Wood Transfer Protocol Project

Source : WTP, « Our Solution », <https://wtp-project.com/solution.php>

Comment fonctionne³⁷ Wood Tracking Protocol ?

Le projet combine des fonctionnalités offertes par les appareils mobiles (tels que les smartphones et les tablettes) et la technologie blockchain pour soutenir la traçabilité du bois dans la région de l'Amazonie péruvienne.

Wood Tracking Protocol propose aux acteurs de la chaîne de valeur (bûcherons, transporteur...) une application qui collecte des données pertinentes pour la forêt qui seront ensuite gérées et traitées sur une plateforme. Typiquement, les données peuvent être les paramètres géographiques d'une licence d'exploitation forestière,

des données sur l'espèce ou la taille d'un arbre à exploiter ou une image intégrant un horodatage et des données GPS montrant une opération le long de la chaîne de transformation du bois. Les utilisateurs de l'application, les bûcherons, se connectent à la plateforme Wood Tracking Protocol où la validation de l'identité se fait par la vérification du numéro de téléphone. Une fois que l'utilisateur est validé par Wood Tracking Protocol, il pourra interagir avec la plateforme au sein de laquelle les informations collectées seront consignées dans la blockchain utilisée.

L'application permet ensuite à ses utilisateurs de documenter leur travail

37 « Our solution », Wood Transfer Protocol Project, retrieved May 11, 2022, <https://wtp-project.com/solution.php>



(en utilisant la photo, le GPS et d'autres fonctionnalités sur un appareil mobile) et de stocker ces informations de manière séquentielle et inviolable sur une blockchain. Le projet complète le suivi du monde réel en associant un historique numérique unique, notamment l'itinéraire GPS et l'heure, à un arbre ou à un chargement de bois. C'est ainsi que Wood Tracking Protocol peut réduire le risque que le même arbre ou le même chargement de bois ne soit pas enregistré plusieurs fois lorsque son suivi est assuré par papier.

Wood Tracking Protocol a d'abord développé sa plateforme en s'appuyant sur la blockchain publique Ethereum avant de basculer sur une blockchain privée en raison, selon le rapport 2021 de l'INATBA « *des limitations actuelles en matière d'évolutivité (le stockage de données volumineuses sur Ethereum en mars 2021 a un coût prohibitif) et de l'utilisation énergivore du mécanisme de consensus Proof of Work d'Ethereum³⁸* ».

Traçabilité du charbon de bois

En Côte d'Ivoire, la production de charbon de bois traditionnel et de bois de feu est depuis très longtemps associée aux problèmes de déforestation et de dégradation des terres. Selon le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD), il est utilisé

comme principale source d'énergie domestique par 47% des ménages installés dans les zones urbaines. Or, selon la Société de Développement des Forêts (SODEFOR), une société d'État ivoirienne, créée en 1966 et rattachée au ministère des eaux et forêts et au ministère de l'économie et des finances, « *près de 300 000 hectares de forêts disparaissent annuellement à cause de la surexploitation illégale du bois utilisé pour la production du charbon de cuisson et l'export du bois précieux (Tek, Afrormosia et Bete)* ». De plus, « *le marché du charbon de bois et de bois de feu étant largement informel et peu organisé et donc facilement pénétrable, il est souvent soumis à des problèmes de corruption et de pressions entre les acteurs* ».

C'est en partant de ce constat que, depuis 2008, une association ivoirienne de femmes, MALEBI, s'est engagée dans le domaine de la production et la vente commercialisation de charbon de bois durable.

Après avoir signé deux Conventions de partenariat avec la SODEFOR en 2011 et 2018, l'Association gère la forêt classée d'Ahua d'une superficie de 4 500 ha et revendique 150 ha de reboisement, réalisé en collaboration avec les communautés riveraines, leur permettant ainsi de produire et vendre un charbon de bois durable.

³⁸ « Blockchain for Climate Action and the Governance Challenge », INATBA's 2021 Report, <https://inatba.org/reports/climate-action-governance-challenge/>

L'un des principaux défis auquel est confronté MALEBI est que « *les petits producteurs qui tentent de gérer légalement et durablement les forêts pour produire le charbon de bois ont du mal à rivaliser avec ceux qui extraient les ressources de manière informelle et déloyale et ne contribuent pas aux coûts de gestion* ».



Source : Delphine Ahoussi, Présidente de l'Association des femmes productrices et vendeuses de charbon de bois (MALEBI) <https://www.flickr.com/photos/faforestry/50566430711/in/album-72157716747275473/>.

Le coût de production du charbon de bois issu de MALEBI ne peut pas concurrencer

l'exploitation illégale de charbon de bois. Pour mieux valoriser cette exploitation durable, MALEBI conduit depuis 2020 une initiative blockchain, **Charcoal Trace**, avec deux partenaires. **Resource Extraction Monitoring (REM)**, partenaire technique, une organisation britannique à but non lucratif créée en 2003 et spécialisée dans « *le contrôle indépendant de l'application de la loi et de la gouvernance pour les activités liées à l'extraction et à la gestion des ressources naturelles³⁹* », ainsi que **Gaiachain**, une organisation britannique fondée en 2018 et dont la mission est de « *développer des solutions de traçabilité et de paiement pour soutenir les chaînes d'approvisionnement sans déforestation, en particulier celles qui dépendent des petits agriculteurs* ».

Cette initiative a été financée par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture⁴⁰ (FAO), l'Agence suédoise de coopération internationale pour le développement, le Bureau des affaires étrangères, du Commonwealth et du Développement du Royaume-Uni et l'Union Européenne.

Charcoal Trace est une application mobile et Web basique qui permet de « *tracer le produit et d'enregistrer les documents essentiels tels que le permis de production de charbon, les reçus de paiement des redevances par sac et les carnets de voyages signés par les*

39 « Few Words about us », Resource Extraction Monitoring, retrieved May 11, 2022, <https://rem.org.uk/>

40 « Développement d'un système de traçabilité pilote du charbon de bois durable et légal basé sur la technologie blockchain », FAO-EU FLEG Programme, 2019-2021, <https://www.fao.org/in-action/eu-fao-flegt-programme/our-projects/en/#/web/project/5b3a4e155bb93e49b83bf5ef>



Agents des Eaux et Forêts, mais aussi d'empêcher les retraits abusifs des permis ou des autorisations papiers lors des contrôles par certains agents sur la route⁴¹ ». La preuve de concept a d'abord été développée sur une blockchain privée, Hyperledger, avant de pouvoir être portée sur une blockchain publique. L'application permet ainsi de tracer le charbon depuis le site de production jusqu'aux points de vente. Les données enregistrées dans la blockchain concernent le nombre d'arbres coupés et leur essence ainsi que leurs coordonnées GPS tout au long du parcours, le nombre de sacs de charbon produits, vendus et réceptionnés ainsi que les documents légaux. Cela implique à la fois les autorités réglementaires, le gouvernement, les certificateurs ainsi que les producteurs, les transformateurs et les acheteurs.

De plus, un marché premium du charbon se développe à Abidjan et, selon l'agence de coopération internationale allemande pour le développement (GIZ), « *de plus en plus d'acheteurs cherchent à s'approvisionner en charbon de qualité, dans le secteur alimentaire et des cosmétiques, que ce soit à un niveau individuel ou des entreprises⁴²* ».

Cacao

Si la promesse des blockchains est de pouvoir offrir une transparence « de la fourche à la fourchette » selon l'expression marketing dorénavant consacrée, certains projets s'enquièrent de s'assurer que les premiers de la chaîne de production perçoivent un salaire décent (ODD 8⁴³). C'est ce que revendique l'entreprise **Koa**, basée en Suisse et au Ghana, qui, en mars 2022 assure avoir rémunéré 2 250 petits agriculteurs ghanéens à hauteur de 263 000 euros et ayant également évité 390 tonnes de déchets alimentaires⁴⁴.

Koa⁴⁵ forme les cultivateurs de cacao pour traiter la pulpe des fèves de cacao, auparavant mise au rebut. Cela leur permet de gagner un revenu supplémentaire et d'être payés sans délai après le processus de production. Koa a mis au point une « unité mobile de traitement communautaire » (voir image *supra*), fonctionnant à l'énergie solaire, et qui permet d'extraire la pulpe de cacao au sein même des communautés d'agriculteurs, à côté des plantations de cacao. La production est ensuite traitée par une usine située à Assin Akrofuom, une ville sur la rivière Gyimi dans la

41 « La technologie blockchain pour la bonne gouvernance du charbon de bois en Côte d'Ivoire », Eulalie Guillaume, Résumé exécutif du projet pilote, Avril 2021.

42 « Côte d'Ivoire », GIZ, retrieved May 11, 2022, <https://www.giz.de/en/worldwide/346.html>

43 Objectif de développement durable 8 Cible 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.

44 « Can Blockchain Fix the Chocolate Industry's Labor Issues ? », Jill Ettinger, March 24, 2022, <https://www.greenqueen.com.hk/blockchain-cocoa-labor-issues/>

45 « Koa taking transparency to the next level with seedtrace », Seed Trace, retrieved May 11, 2022,



Unité mobile de traitement communautaire de l'entreprise Koa au Ghana

Source : koa, <https://koah-impact.com/production/>

région Ashanti du Ghana, afin que les produits soient pasteurisés, emballés et prêts à être expédiés.

La plateforme Koa a nécessité l'implication de trois partenaires, SeedTrace, MTN et Topl.

Seedtrace, fondée à Berlin en 2019 opère une blockchain dédiée à la traçabilité logistique. Ana Selina Haberbosch, PDG de Seedtrace explique vouloir « établir ainsi de nouvelles normes garantissant que les informations sont vérifiées, ne peuvent pas être manipulées et sont accessibles en temps réel pour toutes les parties prenantes.» **MTN**, quant à lui, est le plus grand opérateur de réseau mobile

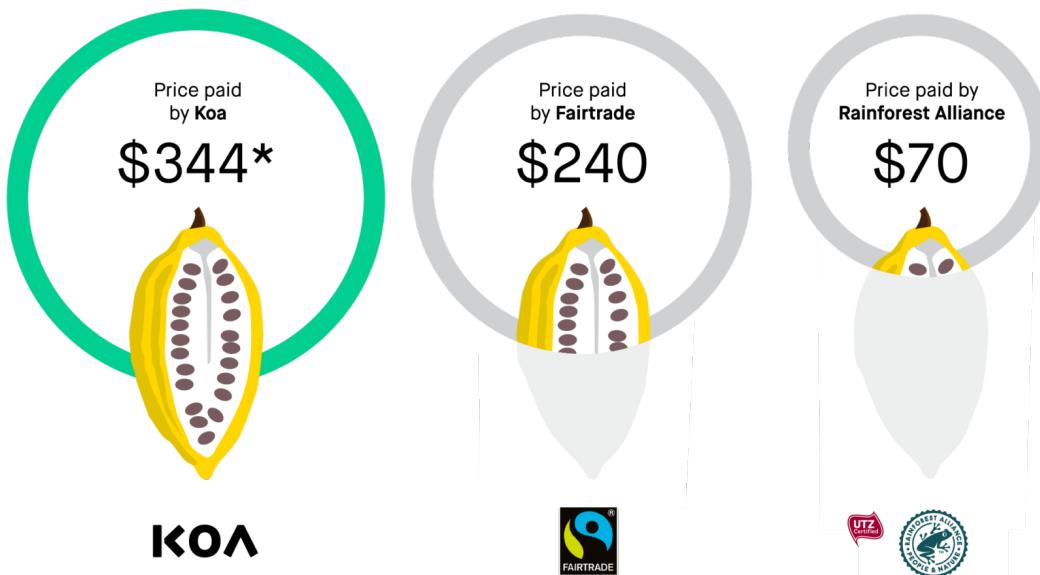
d'Afrique, avec 272 millions de clients sur 19 marchés en Afrique et au Moyen-Orient. Kao utilise MTN Mobile Money, « *un service électronique sécurisé qui permet aux détenteurs d'un portefeuille MTN Mobile Money de stocker des fonds, d'envoyer et de recevoir de l'argent, d'effectuer des paiements et un certain nombre d'autres transactions en utilisant simplement leur téléphone portable*⁴⁶ ».

C'est le service mobile utilisé pour payer les petits producteurs. Enfin, **Topl** est une entreprise de « *technologie d'impact qui construit une solution blockchain pour permettre aux organisations et aux individus de prouver leurs pratiques éthiques et durables*⁴⁷ ».

https://seedtrace-website.cdn.prismic.io/seedtrace-website/5270d7b5-7a21-408e-8661-beed0de6dd7e_Seedtrace_CaseStudy_KOA_01-zusammengefügt%2B%281%29.pdf

46 « MTN Ghana », MTN, retrieved May 11, 2022, <https://mtn.com.gh/>

47 « TOPL », Github, retrieved May 11, 2022, <https://github.com/Topl>



Koa Impact. Source : Koa, <https://koah-impact.com/radical-transparency/>

La blockchain de Topl, créée en 2018 est une blockchain publique sans permission⁴⁸, reposant sur un mécanisme de consensus de la preuve d'enjeu (*proof of stake*) dérivé d'Ouroboros de la blockchain publique Cardano.

L'intérêt de recourir à une blockchain permet d'offrir une autre forme de transparence que les labels comme le système « FairTrade » ou « Rainforest Alliance et UTZ », tout en assurant un revenu plus important pour le petit producteur. En effet, le système Fairtrade, par exemple, permet « *au consommateur d'identifier des produits dont les ingrédients sont issus du commerce équitable et dont la production, la transformation et la commercialisation*

répondent aux standards Fairtrade, répondant à un cahier des charges précis⁴⁹ ». Pour s'assurer du respect de ce cahier des charges, Fairtrade fait appel à un organisme de certification indépendant, FLOCERT, qui mobilise près de 100 auditrices et auditeurs basés dans cinq bureaux répartis sur quatre continents pour réaliser les audits des organisations de productrices et producteurs labellisés Fairtrade au moins deux fois par cycle de trois ans, ainsi que, parfois, lors d'audits inopinés⁵⁰.

48 « Virtual reality adapting coffee supply chains to covid-19 », Topl, retrieved June 14, 2022, [https://uploads-ssl.webflow.com/60f98f46d44e675abb7e66ea/611c66dff0c7e5f1ea9f7710_60776766cd67dd8cf4206c5_Final%20Whitepaper%20\(1\).pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/60f98f46d44e675abb7e66ea/611c66dff0c7e5f1ea9f7710_60776766cd67dd8cf4206c5_Final%20Whitepaper%20(1).pdf)

49 « Fair Trade : Frequently Asked Questions (FAQ) », Fairtrade, retrieved May 11 2022, <https://www.fairtrade.net/about/faq>

50 « Les contrôles en pratique », Fair Trade/ Max Havelar, retrieved May 11, 2022, <https://maxhavelaarfrance.org/le-commerce-equitable/certification-et-controle>

Koa se targue d'offrir un prix nettement plus élevé que ceux pratiqués par les labels FairTrade » ou « Rainforest Alliance et UTZ qui n'achètent en effet que les fèves de cacao aux petits producteurs, mais également d'assurer une transparence en temps réel des paiements effectués aux petits producteurs. Les paiements mobiles sont vérifiés et stockés sur une blockchain, devenant ainsi accessibles au public. « *Au lieu qu'une personne entre des informations sur la blockchain, elle relie les données des transactions d'argent mobile⁵¹* », explique Francis Appiagyei-Poku, directeur des finances et de l'administration de Koa. « *Cette combinaison nous permet de vérifier les revenus supplémentaires des agriculteurs, de fournir une preuve complète et d'accroître la confiance entre les parties prenantes* ».

Textile

Selon le WWF, « *le coton est la culture non alimentaire profitable la plus répandue dans le monde. Sa production procure un revenu à plus de 250 millions de personnes dans le monde et emploie près de 7 % de la main-d'œuvre dans les pays en développement. Environ la moitié de tous les textiles sont fabriqués en coton⁵²* ».

L'industrie manufacturière du textile

51 « Koa and seedtrace take transparency to the next level, using blockchain », Seedtrace, retrieved May 11, 2022, <https://seedtrace.org/case-study-with-koa>

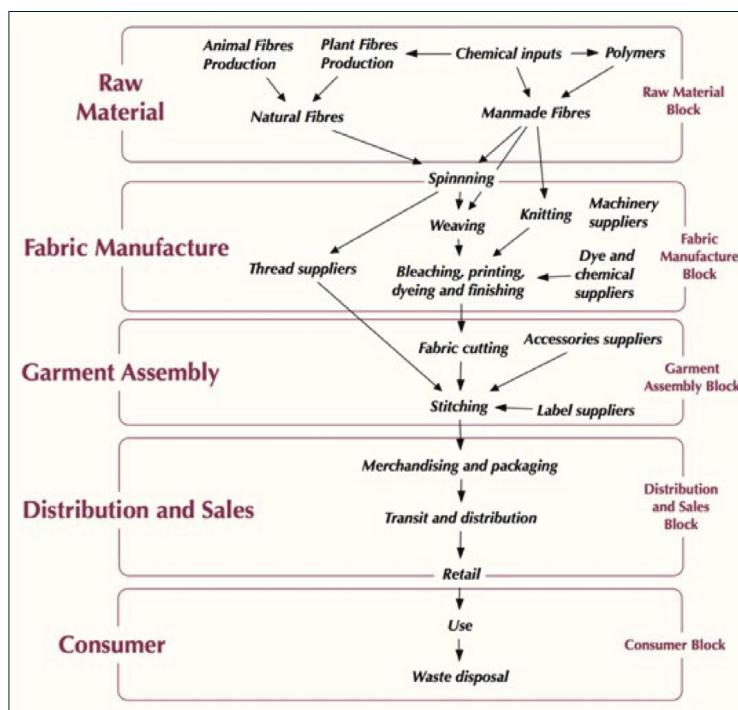
52 « Cotton », WWF Sustainable Agriculture, retrieved May 11, 2022, <https://www.worldwildlife.org/industries/cotton>

53 Bullón Pérez, Juan J., Araceli Queiruga-Díos, Víctor Gayoso Martínez, and Ángel Martín del Rey. 2020. « Traceability of Ready-to-Wear Clothing through Blockchain Technology » *Sustainability* 12, no. 18: 7491. <https://doi.org/10.3390/su12187491>

et de l'habillement est un secteur des plus complexes, notamment parce qu'il implique une cascade de sous-traitants qui couvrent l'ensemble du cycle de fabrication, depuis la récolte des matières premières jusqu'à l'élaboration des produits finaux, ce qui, pour certains, « *rend la traçabilité presque impossible⁵³* ».

De nombreuses entreprises se sont néanmoins lancées dans la traçabilité de chaînes logistiques à l'attention des industries du textile et de l'habillement en déployant des applications ou des plateformes reposant sur des blockchains privées ou publiques.

Parmi les opérateurs ayant mis en place une blockchain privée, **Retraced GmbH**, en Allemagne, propose depuis 2019 « *une solution logicielle de gestion de la chaîne d'approvisionnement durable qui permet aux marques de mode de coordonner leurs chaînes d'approvisionnement et d'atteindre leurs objectifs de durabilité* ». La plateforme exploite une blockchain construite sur Oracle Autonomous Database, un service Cloud proposé par Oracle ainsi que Oracle Blockchain Platform, basé sur Hyperledger Fabric. C'est donc un logiciel de planification des ressources amélioré (ERP) qui permet à des marques de se lancer dans la gestion de leur chaîne d'approvisionnement.



Ready-to-wear Clothing Supply Chain

Source : Bullón Pérez, Juan J., Araceli Queiruga-Dios, Víctor Gayoso Martínez, and Ángel Martín del Rey. 2020. « Traceability of Ready-to-Wear Clothing through Blockchain Technology » *Sustainability* 12, no. 18: 7491. <https://doi.org/10.3390/su12187491>

L'entreprise se targue de tracer 2 500 chaînes d'approvisionnement, 2 000 fournisseurs représentant 2 millions de produits.

Genuine Way fondé en 2018 en Suisse, **Nyala** créé en 2019 en Belgique, l'**association britannique de la mode et du textile** (UKFT) en partenariat avec IBM, le **U.S. Cotton Trust Protocol** s'appuyant sur **TextileGenesis™** ou encore **Verofax**, basée aux Émirats Arabes Unis depuis 2018 sont quelques unes de ces nombreuses *startups* ou consortium ayant lancé ou étant cliente d'une offre « *blockchain as a service* », sur le modèle d'une « offre Cloud » qui

permet à une marque d'utiliser une plateforme centralisée pour suivre des fournisseurs sur une chaîne de valeur plus ou moins complexe.

D'autres initiatives s'appuient sur une blockchain publique, comme **Devery.io**, qui a développé une plateforme de vérification décentralisée dont le principe est de pouvoir « marquer » et « suivre » n'importe quel produit ou matière sur la blockchain publique Ethereum.

Selon le livre blanc de Devery.io, le protocole utilise un token appelé Entry Verification Engine⁵⁴ (EVE) et qui permet « aux fabricants, aux marques,

54 « Devery (EVE) », CoinMarketCap, retrieved May 11, 2022, <https://coinmarketcap.com/fr/currencies/devery/>

aux détaillants et à toute autre partie d'attribuer des signatures uniques à tout produit, service ou bien numérique vendu, émis et échangé en ligne. Les signatures uniques sont stockées sur le réseau Ethereum et peuvent être interrogées pour déterminer les données contextuelles (notamment le lieu, la date, le fabricant/point d'origine et l'identification de la partie chargée de la vérification) ».

L'objectif de Devery.io est de créer un écosystème d'applications de vérification qui communiquent et interagissent entre elles par le biais du protocole Devery et du token EVE. Le protocole, *open source*⁵⁵, permet à des développeurs de créer des applications de vérification en utilisant des *smart contracts* pré-développés pour simplifier l'intégration des services auprès des entreprises clientes, tout en s'appuyant sur une blockchain publique basée sur Ethereum.

55 « Devery », Github, retrieved May 11, 2022, <https://github.com/devery>



ENJEUX ET QUESTIONS

La promesse d'initiatives blockchains dans le domaine de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement serait de servir de registre infalsifiable permettant de minutieusement tracer des informations fournies par une multitude d'acteurs différents interagissant sur une chaîne de valeur. La première question à se poser face à ce genre d'initiatives est celle de savoir comment le premier de la chaîne de valeur y est inclus. En effet, la mise en place d'une blockchain à des fins de traçabilité requiert *a minima* une connexion internet, ce qui est loin d'être le cas dans des zones reculées.

Si la connectivité le permet, il se pose également 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, notamment à l'aide de composants de l'internet des objets (IoT), comment s'assurer de la véracité des informations transmises ? Pour certains acteurs de la chaîne logistique déployant une blockchain pour maintenir l'intégrité des données d'un registre

partagé, le plus important n'est pas la donnée mais la personne qui en est responsable. Une entreprise française, **Ownest**, travaille depuis plusieurs années à mettre en œuvre des systèmes de traçabilité de chaîne logistique reposant sur des jetons non fongibles (NFT*) attachés tout à la fois aux produits, marchandises et objets. L'objectif est d'assurer la traçabilité avec les personnes qui en ont la charge au fur et à mesure de leurs interactions sur la chaîne de valeur.

Pour Quentin de Beauchesne, co-fondateur de la société Ownest « *le NFT* est un des meilleurs représentants de ce transfert de valeur via une blockchain, et la traçabilité qu'il apporte, permet de suivre de manière certaine qui le possède à un moment donné. Si on ajoute la faculté d'accepter ou refuser ce NFT*, alors celui-ci peut porter la responsabilité sur un bien réel, ou virtuel¹* ».

Toujours est-il que les chaînes d'approvisionnement internationales articulent de plus en plus d'intermédiaires rendant toujours plus opaques la provenance des

¹ « Des NFTs en logistique ? », Quentin de Beauchesne, Ownest, 18 mai 2021, <https://ownest.io/news/nft-month-nfts-logistique>

matières premières et la manière dont elles auront été extraites ou récoltées. Les externalités sociales et environnementales, liées aux violations des droits de l'homme et à la dégradation de l'environnement ne se reflètent que rarement dans le prix de vente, qui constitue bien souvent le seul critère d'arbitrage pour les acheteurs. Comment s'enquérir des dimensions sociales et environnementales liées à la production et la création de produits et de marchandises, et notamment les conditions de travail des premiers maillons de la chaîne ?

De plus, il est des secteurs industriels où, avec ou sans blockchain, l'opacité des pratiques dépend du contexte géopolitique des pays où sont extraites ou récoltées les matières premières, et de la manière dont elles seront ensuite vendues sur les marchés financiers.

Sur le marché des matières premières (*commodities market*), le seul critère est bien souvent le prix d'achat et de vente. Comme le confiait un professionnel de la chaîne logistique répondant à une interview dans le cadre du rapport *From Blockchain to Sustainability in Supply Chains*² « à l'heure actuelle, si vous achetez un matériau affecté

par un conflit, comme l'étain, sur le marché mondial, vous voyez l'étain à un certain prix, l'étain à un autre prix [...] et vous ne faites pas la différence. A-t-il été extrait du fond de la mer en détruisant les fonds marins ? A-t-il été extrait d'une mine responsable ? A-t-il été extrait en recourant au travail forcé ? Vous ne savez pas. Et ces entreprises peuvent produire des rapports, mais il y a toutes sortes de problèmes. Comment pouvez-vous savoir sans visiter ? Et donc, si vous vous rendez sur place, combien d'audits doivent être réalisés et donc, plus une entreprise prend des mesures de durabilité, plus elle subit d'audits, plus de personnes visitent la mine, plus elle doit travailler, et cela coûte plus cher. En conséquence, les prix sont plus élevés sur le marché des matières premières. Si vous achetez une matière première, c'est vraiment le prix qui fait la différence. Ils sont désavantagés. Si vous mettez en place une solution de suivi et de traçabilité, cela coûte de l'argent. Qui paie pour cela ? Les mineurs, ceux que vous essayez d'aider, et quelqu'un vient et dit que je vous donne un bonus de blanchiment de 30 % pour vendre illégalement à mon armée. Soudain, vous dissuadez les gens d'agir de manière responsable³.

2 « Supporting Information - Unfinished Paths - From Blockchain to Sustainability in Supply Chains », Susanne Köhler, Massimo Pizzol and Joseph Sarkis, Frontier in Blockchain, 2021, <https://doi.org/10.3389/fbloc.2021.720347>

3 Ibid.



Ainsi, les blockchains n'ont rien d'une solution miracle. Un problème majeur des chaînes d'approvisionnement, qui va de pair avec la complexification des chaînes de valeur, concerne la fragmentation des informations détenues par chacun des acteurs qui la composent.

Problématique que l'on retrouve également dans le domaine de l'industrie de l'extraction minière ou encore de l'industrie textile, responsable à elle seule de 17 à 20 % de la pollution mondiale des eaux selon la Banque Mondiale⁴.

Les enjeux de traçabilité des chaînes logistiques sont intrinsèquement liés à la multitude des acteurs interagissant entre eux sans se connaître au sein de chaînes de valeur complexes et souvent opaques. Que penser de la multiplication des initiatives blockchains, bien souvent privées, dont l'intérêt semble limité à ceux qui les déploient ?

Les initiatives consistant à déployer une blockchain privée permettent d'assurer à un petit nombre d'acteurs la gouvernance centralisée du service. Selon TE-FOOD « *les grandes entreprises alimentaires comme WalMart, Carrefour ou Nestlé peuvent être convaincues de mettre en œuvre des solutions de blockchains privées comme IBM Food Trust. En réalité, les blockchains centralisées - où tous les noeuds sont fournis par le fournisseur de la solution - ne sont pas plus crédibles qu'une base de données centralisée*⁵ ».

Le caractère centralisé et propriétaire de ces initiatives est une réplique des systèmes traditionnels, même s'ils gagnent en efficacité, puisque gérée par une entité ou un petit groupe d'entreprises. Une autre manière de fédérer l'ensemble des acteurs d'une filière ou d'un secteur d'activité serait de partager un langage commun, un référentiel commun, un registre commun qui appartiendrait à la fois à tous et à personne, à l'instar des standards d'internet, et dont la gouvernance ne dépendrait plus d'un seul acteur ou d'un groupe d'acteurs qui se coordonnent en

4 « L'impact environnemental de la mode et de la fast-fashion », Valentine Ambert, Youmatter, 16 février 2021. [https://youmarter.world/fr/impact-environnemental-mode-fast-fashion-textile-pollution-environnement/](https://youmatter.world/fr/impact-environnemental-mode-fast-fashion-textile-pollution-environnement/)

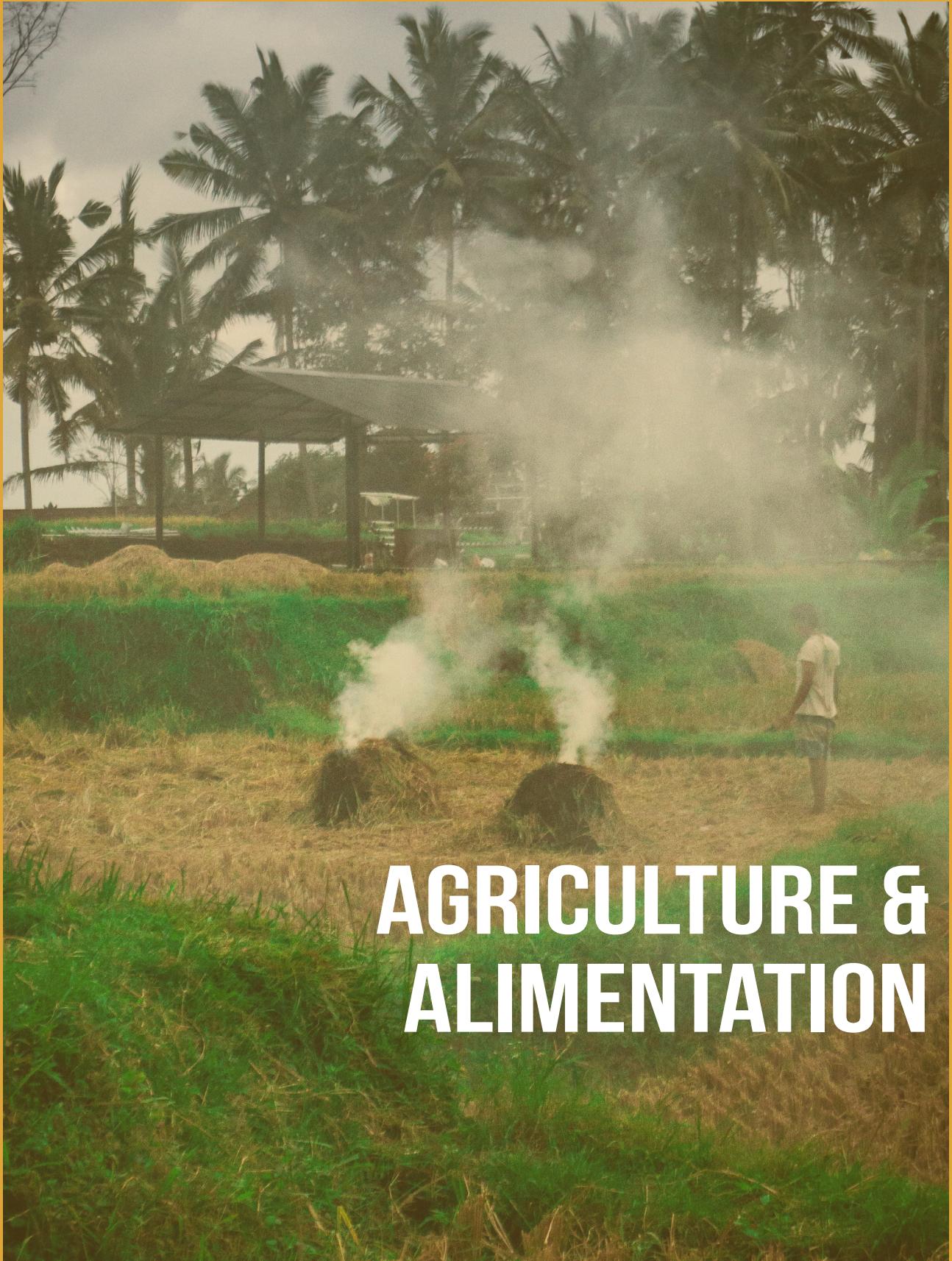
5 « 8 Food Traceability Predictions for 2020 », TE-Food, retrieved May 11, 2022, <https://te-food.com/8-food-traceability-predictions-for-2020/>

profitant de l'asymétrie d'information dont ils bénéficient.

Plusieurs professionnels travaillant dans le domaine de la traçabilité et de la logistique nous ont ainsi expliqué qu'actuellement, la dimension technique de ces projets blockchain n'était pas tant le plus

grand *challenge* que celui de la gouvernance.

En effet, un projet blockchain prend tout son sens dans un environnement où la confiance fait défaut et où la gouvernance est au moins décentralisée lorsqu'elle ne peut pas être distribuée.



AGRICULTURE & ALIMENTATION

AGRICULTURE ET ALIMENTATION

par **Lucas Zaehringer**, co-fondateur de Positiveblockchain.io et *Lead Europe* chez Verity Tracking.

Nombre de projets dans la base : 98

Nombre de projets actifs : 56

Nom des projets actifs : Agri10x ; Agrichain ; Agridigital ; Agriledger ; agri-wallet ; Agroplug ; Agrotoken ; agrotrust ; AgUnity ; AXIchain ; Bananacoin ; Bart.Digital ; BeefLedger ; Bext360 ; Bitcliq - Lota Digital ; Bitcow ; Bloombloc ; Cardano / Ethiopia ; Cerealia ; Chainvine ; Choco4Peace ; Connecting Food ; Covantis ; eAgronom ; FairChain Foundation ; Fairfood ; Farmer Connect ; Fishcoin ; Food Trax ; Foodchain ; FoodGates ; Foodlogiq ; Foodtrack ; Fransine Farm Norway ; Gavea ; GrainChain ; Hara ; IBISA ; IBM Food Trust™ ; Mixing Bowl ; Omnichain ; OpenSC (WWF) & Nestlé ; Rice Exchange ; Ripe ; SmartAgro ; SPROUT ; TagONE ; TE-FOOD ; The new fork ; Trace My Egg ; TraSeable Solutions ; TurboCereal ; Twiga Foods ; VeriTag ; Verity Tracking ; Verstegen and Fairfood Nutmeg ; Wholechain ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à bonjour@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

Contexte et problématiques

Constat de la Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) et atteinte des Objectifs de développement durable

A l'échelle mondiale, le secteur de l'agriculture emploie plus de 1,3 milliard de personnes soit environ 40 % de la

population active mondiale¹, tout en étant la principale source de revenu pour 80 % de la population mondiale qui vit avec moins de 3,10 dollars par jour². Le développement du secteur de l'agriculture est l'un des principaux piliers qui permettrait de nourrir les 9 milliards de personnes que comptera la planète en 2050³. Quel est l'apport, encore modeste, des registres distribués de type blockchain

1 « Avec près de 40 % de la population active mondiale, l'agriculture est le premier pourvoyeur d'emplois de la planète », Momagri, Terre-Net, 1^{er} Septembre 2012, <https://www.terre-net.fr/actualite-agricole/economie-social/article/avec-pres-de-40-de-la-population-active-mondiale-l-agriculture-est-le-premier-pourvoyeur-d-emplois-202-78960.html>

2 « Agriculture et alimentation », Banque Mondiale, 4 octobre 2021, <https://www.banquemondiale.org/fr/topic/agriculture/overview>

3 « World Population Prospects. Key Findings and Advance Tables », United Nations, 2015, <https://www.un.org/wmnst/population.htm>



Blockchain solutions for the agri-food



Quelques acteurs blockchain dans le secteur de l'agri-food, Source: Positiveblockchain.io

dans ce domaine ? Notamment dans les domaines de la traçabilité des produits alimentaires, le domaine des assurances et du financement ou encore pour l'orchestration de mécanismes de marchés agricoles jugés plus justes et transparents ? Voici un aperçu des initiatives à l'œuvre dans ce domaine.

Un secteur pour le moment loin des Objectifs de développement durable

Nous analysons ici les activités de l'agriculture, des forêts, de la pêche et des industries se rattachant directement à l'alimentation, ce qui représente le champ d'intervention de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, la *Food and Agriculture Organisation of the United Nations* (FAO)⁴.

Cette dernière fait état d'une triste réalité en 2021 concernant l'atteinte des Objectifs de développement durable pour 2030, qui fixent un certain nombre d'objectifs en termes de nutrition, d'éradication de la faim et de la pauvreté, du changement climatique lié aux exploitations ou encore de recherche d'efficacité des systèmes alimentaires notamment en matière de déchets. Les relations entre les Objectifs de développement durable et l'agriculture et l'alimentation sont présentées dans le tableau ci-après.

Ainsi, d'après un récent rapport de la FAO, « *en 2020, la pandémie de Covid-19 a propulsé la faim dans le monde, qui est passée de 8,4 à pas moins de 10,4 % de la population mondiale (...) l'insécurité alimentaire modérée ou grave a enregistré une hausse entre*

population.un.org/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf

4 « About FAO », FAO, retrieved May 19, 2022, <https://www.fao.org/about/en/>

IMPACT PILLARS	KEY FOOD & AGRICULTURAL IMPACT THEMES	LINK TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS
PLANET  + 	CLIMATE CHANGE MITIGATION 	 12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION  13 CLIMATE ACTION  14 LIFE BELOW WATER  15 LIFE ON LAND
	NATURE AND BIODIVERSITY CONSERVATION 	 6 CLEAN WATER AND SANITATION  14 LIFE BELOW WATER  15 LIFE ON LAND
	SUSTAINABLE FOOD PRODUCTION 	 6 CLEAN WATER AND SANITATION  12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION  13 CLIMATE ACTION  14 LIFE BELOW WATER  15 LIFE ON LAND
	INDUSTRY INNOVATION & AGRICULTURAL TECHNOLOGIES 	 12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION  13 CLIMATE ACTION  8 DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH  9 INDUSTRY INNOVATION AND INFRASTRUCTURE
	FOOD SECURITY AND CLIMATE CHANGE ADAPTATION 	 2 ZERO HUNGER  12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION
	SOCIAL EQUITY IN AGRICULTURE 	 1 NO POVERTY  4 QUALITY EDUCATION  5 GENDER EQUALITY  8 DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH  10 REDUCED INEQUALITIES
	NUTRITIOUS, HEALTHY AND SAFE FOOD 	 3 GOOD HEALTH AND WELL-BEING  12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION

Source : Valoral Advisors, November 2018 ; « *Impact investing in the global food and agricultural investment space* », Lucía Garzón, Roberto Vitón, Valoral Advisors, November 2018, <https://www.valoral.com/wp-content/uploads/Valoral-Advisors-Impact-Investing-November-2018.pdf>

2015 et 2019 et touche à présent 25,9 % de la population mondiale⁵ », une augmentation observée depuis de nombreuses années certes, mais qui « en 2020 a été égale à celle des cinq années précédentes réunies⁶ ». Par ailleurs, la FAO fait état de « disparités systématiques [...] dans les revenus et la productivité des petits et grands producteurs d'aliments⁷ ».

La FAO souligne d'autres problématiques majeures liées au stress hydrique, à la réduction de la superficie forestière, la forte volatilité des prix, l'inégalité

de rémunération ou de droits fonciers homme-femme, l'utilisation de produits chimiques ou pesticides, la mise en danger de la biodiversité ou la persistance de la pêche illicite.

Blockchain, agri-food et Union européenne

Dans les pays développés, l'agriculture ne représente plus que 4,2 % des emplois directs. Les politiques gouvernementales se focalisent principalement sur l'apport de transparence pour le consommateur, les mécanismes de fixation de prix

5 « Suivi des progrès des indicateurs des ODD liés à l'alimentation et à l'agriculture 2021 », FAO, 2021, <https://www.fao.org/sdg-progress-report/2021/fr/>

6 Ibid.

7 Ibid.



ou la simplification des nombreuses réglementations qui viennent complexifier le travail des agriculteurs⁸.

Dans l'Union européenne, diverses initiatives et réformes impactent l'avenir de l'agriculture et des systèmes alimentaires. La nouvelle Politique Agricole Commune (PAC) qui sera mise en œuvre sur la période 2023-2027 se veut « *plus juste, plus verte et davantage fondée sur les résultats* »⁹. Le Cluster 6 « *Alimentation, bio économie, ressources naturelles, agriculture et environnement* » du programme Horizon Europe^{10 11} comprend des projets liés à la biodiversité, à la gestion des forêts et terres agricoles, aux systèmes alimentaires, ou à l'impact environnemental de l'agriculture. Le nouveau pacte vert européen¹² (« *Green Deal* ») dont le but est de rendre l'Europe climatiquement neutre en 2050 présente aussi des axes stratégiques et programmes d'investissement - jusqu'à

un trillion d'euros pour les dix prochaines années¹³ - liés à ce secteur. En particulier l'un des volets du pacte vert est la stratégie de la « ferme à l'assiette » (Farm2Fork)¹⁴ qui vise à créer « *un système alimentaire équitable, sain et respectueux de l'environnement*¹⁵ ». Les thématiques avancées qui feront l'objet de nouveaux textes de loi concernant la protection de la biodiversité, le rôle de l'agriculture dans la réduction des émissions de CO₂ mais aussi le développement de l'agriculture biologique (8,5 % à 25% des terres exploitées en 2030), le développement de l'économie circulaire, la réduction des pesticides (50 % d'ici 2030) ou encore le bien-être animal.

L'Union européenne a ainsi récemment lancé un appel d'offre pour définir sa feuille de route en matière de blockchains pour le secteur *agri-food*¹⁶. De nombreuses voies d'application de la technologie sont mentionnées : la meilleure traçabilité

8 « L'agriculture française, l'une des plus réglementées au monde », MédiasTerre, consulté le 21 juin 2022, https://www.mediaterre.org/actu_20210910090956_2.html

9 « Politique Agricole Commune 2023-2027 », Conseil Européen, consulté le 21 juin 2022, <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/cap-future-2020-common-agricultural-policy-2023-2027/>

10 Horizon Europe est le « programme-cadre » de recherche et d'innovation de l'Union européenne qui succède au programme Horizon 2020 depuis le 1^{er} janvier 2021.

11 « Horizon Europe: faire en sorte que les investissements de l'UE dans l'innovation et la recherche aient un impact », Commission européenne, retrieved July 21, 2022, <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/horizon-europe/#:~:text=La%20Commission%20européenne%20a%20proposé,euros%20supplémentaires%20du%20Fonds%20InvestEU>

12 Un pacte vert pour l'Europe, Commission européenne, retrieved July 21, 2022, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr

13 « The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism explained », European Commission, retrieved Jun 21 2022, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_24,

14 « De la ferme à la table : comment l'UE veut verdier nos assiettes », Valentin Ledroit, Toute l'Europe.eu, 27 octobre 2021, <https://www.touteurope.eu/agriculture-et-peche/de-la-ferme-a-la-table-comment-l-ue-veut-verdir-nos-assiettes/>

15 *Ibid.*

16 « Research & innovation roadmap for blockchain technologies in the agri-food sector », European Commission, retrieved May 19, 2022, <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl6-2021-farm2fork-01-07>

et écoresponsabilité dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire, la transparence pour les consommateurs, la recherche d'équilibre des pouvoirs entre les acteurs du système, la mise en place de labellisations ou mécanismes préservant la biodiversité ou encore l'optimisation de processus administratifs.

Blockchain et traçabilité dans le système alimentaire

Blockchains et contrôle de la sécurité alimentaire

Les standards et systèmes de contrôle des aliments mis en place par les gouvernements visent à s'assurer que les produits disponibles soient « *sûrs, de qualité et propres à la consommation humaine, conformes aux normes de sécurité sanitaire et de qualité des aliments et étiquetés de manière honnête, exacte et conforme à la loi*¹⁷ ». L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) rapporte¹⁸ que les problèmes liés à la sécurité

alimentaire sont responsables de plus de 200 maladies à travers le monde. La contamination de produits alimentaires affecte 600 millions de personnes, soit une personne sur dix, et tue 420 000 personnes par an. La perte de productivité ainsi que les dépenses médicales liées à ce fléau dans les pays à faible revenu sont estimées à 110 milliards de dollars.

On se souvient de la crise de la vache folle en France dans les années 1990¹⁹, du scandale de la viande de bœuf ou d'agneau substituée par de la viande de cheval qui a éclaté au sein de l'Union Européenne en 2013²⁰, de celui du lait infantile frelaté en Chine²¹, de l'épidémie de salmonelle dans les papayes vendues aux Etats-Unis en 2017²², de la crise du listériose dans les saucisses Polony commercialisées par Tiger Brands qui aurait causé la mort de 216 personnes en Afrique du Sud²³, et enfin très récemment des cas de contamination dus à la bactérie E.coli dans les pâtes à pizza Buitoni²⁴.

17 « Système de Contrôle des Aliments », FAO, retrieved May 19, 2022, <https://www.fao.org/food-safety/food-control-systems/fr/>

18 « Food Safety », WHO, retrieved May 19, 2022, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>

19 « 28 février 1991, premier cas de vache folle en France », Ina.fr, 6 novembre 2007 - Mis à jour le 24 février 2021 <https://www.ina.fr/ina-eclaire-actu/28-fevrier-1991-premier-cas-de-vache-folle-en-france>

20 « 2013, le scandale de la viande de cheval dans les lasagnes éclate », Ina.fr, 16 avril 2019, <https://www.ina.fr/ina-eclaire-actu/2013-le-scandale-de-la-viande-de-cheval-dans-les-lasagnes-eclate>

21 « Lait frelaté : la catastrophe sanitaire s'étend en Chine », Le Monde avec AFP, 16 septembre 2008, https://www.lemonde.fr/asie-pacifique/article/2008/09/16/le-scandale-du-lait-frelate-prend-de-l-ampleur-en-chine_1095986_3216.html

22 « Deadly salmonella outbreak linked to papayas », Debra Goldschmidt, CNN, July 21, 2017, <https://edition.cnn.com/2017/07/21/health/papaya-salmonella-outbreak/index.html>

23 « L'épidémie de listériose déclenche un vent de panique en Afrique australie », Jean-Philippe Rémy, Le Monde, 6 mars 2018, https://www.lemonde.fr/afrique/article/2018/03/06/l-epidemie-de-listeriose-declenche-un-vent-de-panique-en-afrigue-du-sud_5266570_3212.html

24 « Bactérie « E. coli » dans des pizzas Buitoni : une information judiciaire ouverte », Le Monde avec AFP, 12 mai 2022, https://www.lemonde.fr/societe/article/2022/05/12/bacterie-e-coli-dans-des-pizzas-buitoni-une-nouvelle-information-judiciaire-ouverte_6125876_3224.html



Dans un pays comme Singapour par exemple où 90% des produits alimentaires sont importés, la sécurité des aliments est une problématique de premier ordre. Dans la période d'avril à décembre 2019, l'Agence Alimentaire de Singapour (SFA) a rapporté que 13% des fruits et légumes importés n'avaient pas passé les tests de qualité en place en raison de la quantité de produits chimiques ou pesticides détectés²⁵.

C'est une problématique observable dans l'ensemble de la région d'Asie du Sud-Est et de nombreuses autres régions dans le monde et qui touche tous les acteurs de la chaîne de valeur : les consommateurs directement impactés par les défauts de qualité des produits ; les producteurs et importateurs qui peuvent subir des pertes et amendes ; les marques et distributeurs qui portent aussi les risques de renvoi et pertes de lots entiers ainsi que des dommages sur leur réputation. La *Singapore Food Agency* (SFA) a ainsi lancé en 2020 une solution avec la plateforme de **VeriTAG**, basée sur la blockchain publique NULS²⁶. Deux caractéristiques principales sont proposées : VeriHub, focalisé sur les exportations alimentaires et VeriShop, qui fonctionne comme une « application de loyauté » basée sur une blockchain. L'utilisateur/consommateur est incité à scanner son produit puisqu'à chaque

vérification de la provenance du produit via le QR Code présent sur l'étiquette, il recevra des tokens NULS qui peuvent ensuite être convertis en monnaie singapourienne.

Qu'est-ce que la traçabilité alimentaire ?

D'après le Codex Alimentarius « *la traçabilité correspond à la capacité de suivre les déplacements d'un aliment parmi des stades précis de la production, de la transformation et de la distribution*²⁷ ». En fonction des réglementations nationales ou régionales en place, les données doivent être stockées et transmissibles aux différentes entités de la filière jusqu'à la vente finale. Pour ce faire, les acteurs concernés utilisent différents systèmes informatiques reposant sur des code-barres et des QR codes. D'autres informations provenant notamment d'Intégrateurs Temps Températures (ITT) permettent de s'assurer de l'état de fraîcheur et de conservation des produits pour éviter le développement d'agents pathogènes.

L'organisation de la sécurité sanitaire est assurée par les gouvernements, Organisations internationales comme l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), les associations industrielles comme le Global Food Safety Initiative

25 « Singapore is betting blockchain can cure its food safety crisis », Connor Sephton, ModernConsensus, August 27, 2020, <https://modernconsensus.com/technology/singapore-is-betting-blockchain-can-cure-its-food-safety-crisis/>

26 « Reach new heights with Nuls », Nuls, retrieved July 21, 2022, <https://nuls.io/>

27 « Codex Alimentarius », FAO, retrieved July 21, 2022, <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/fr/>

(GFSI) ou le British Retail Consortium Global Standard (BRCGS), des organismes de normalisation comme l'International Featured Standards (IFS), le standard de codage Global Standards 1 (GS1) ou l'International Barcode Network (IBN) pour ne citer que les principaux.

Dans le cas de l'Union européenne, des directives ont été graduellement mises en place et sont généralement précisées et complétées par des lois nationales : CEE HYGIENE 93/43, CEE TRACABILITE 178/2002 - article 18 de la General Food Law, règlement CEE 852/2004. Aux Etats-Unis la plupart des dispositifs sont mis en place et surveillés par la Food and Drug Agency (FDA). Il existe également à travers le monde des standards ISO sur la sécurité des denrées alimentaires, notamment ISO 22000, 22002, 22004, 22005.

Avec l'ensemble de ces normes, les exploitants au sein de la chaîne alimentaire doivent à tout moment pouvoir donner des informations sur l'origine des produits utilisés ainsi que sur les entreprises auprès desquelles ils vendent leurs produits. Un certain nombre de procédures et systèmes doivent être mis en place à cet effet.

« J'essaie de ne pas utiliser les mots «chaîne alimentaire» mais plutôt «système alimentaire», parce que nous savons que lorsque vous faites ces traçages, ils ne sont pas directs » explique Frank Yannas, alors responsable de la sécurité alimentaire de Walmart en 2018²⁸. Comme cette citation l'illustre, la problématique est d'intégrer l'ensemble des intrants²⁹, dans le système alimentaire, en commençant par les semences. Cela représente un vrai défi.

Dans le cas des bovins par exemple, leur département, numéro d'identification, date et lieu de naissance, entrées et sorties (ventes, abattoir, etc.) sont enregistrés et stockés à même l'oreille de chaque bête, dans une boucle en plastique dotée d'un tag RFID*. Mais que sait-on de la manière dont ils ont été nourris, et des quantités ou non, d'Organismes Génétiquement Modifiés (OGM) ingérés ?

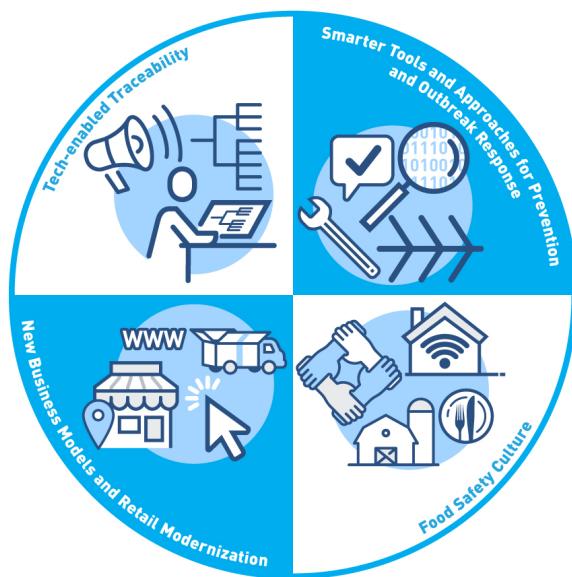
Les réglementations évoluent progressivement pour intégrer ces problématiques en partie sous l'influence des consommateurs et d'associations. Les instances de contrôle suivent également l'évolution des technologies permettant une traçabilité plus facile, fiable et transparente des produits alimentaires.

28 « From 7 days to 2 seconds: Blockchain can help speed trace-back, improve food safety & reduce waste », Elizabeth Crawford, Food Navigator - USA, November 6, 2018, <https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2018/11/06/From-7-days-to-2-seconds-Blockchain-can-help-speed-trace-back-improve-food-safety-reduce-waste>

29 En agriculture, on appelle « intrants » les différents produits apportés aux terres et aux cultures, qui ne proviennent ni de l'exploitation agricole, ni de sa proximité. Les intrants ne sont pas naturellement présents dans le sol, ils y sont rajoutés pour améliorer le rendement des cultures. Source : <https://www.agriculture.gouv.fr/>



La Food and Drug Administration (FDA) a ainsi publié le 9 décembre 2021 un nouveau plan intitulé la « *Nouvelle Ère de la Sécurité Alimentaire Intelligente*³⁰ » reposant sur quatre piliers dont l'un étant la traçabilité aidée par les technologies.



Les quatre éléments du plan de la *Food and Drug Administration* (FDA) américaine

Dans la compétition d'innovation « *FDA New Era of Smarter Food Safety Low- or No-Cost Tech-Enabled Traceability Challenge* »³¹, de nombreux projets parmi les 90 candidats proposaient d'intégrer

nouvelle.fr/qu-est-ce-qu-un-intrant/

30 « The FDA New Era of Smarter Food Safety Low- or No-Cost Tech-Enabled Traceability Challenge », FDA, Precision FDA, retrieved May 19, 2022, <https://precision.fda.gov/challenges/13/results;%20accessed%2012-01-2021>

31 « The FDA New Era of Smarter Food Safety Low- or No-Cost Tech-Enabled Traceability Challenge », FDA, Precision FDA, retrieved May 19, 2022, <https://precision.fda.gov/challenges/13/results;%20accessed%2012-01-2021>

32 « TagOne is a groundbreaking Traceability Management System delivering radical transparency to the food and natural products supply chain, from seed to sale », Tagone, retrieved May 19, 2022, <https://www.tagone.com/>

33 « Wholechain - FDA New Era of Smarter Food Safety Low Cost / No Cost Traceability Challenge Video », Envisibile, YouTube, retrieved May 19, 2022, <https://www.youtube.com/watch ?app=desktop&v=291VY5VGewY>

34 « The Role of GS1 in blockchain based food traceability », TE-FOOD, Medium, May 25, 2018, <https://medium.com/te-food/the-role-of-gs1-in-food-traceability-857c1a1d1642>

des technologies reposant sur des blockchains. Parmi les douze gagnants, certains proposent des solutions de traçabilité s'appuyant sur une blockchain comme **TagOne**³², ou encore **Wholechain**³³, qui compte Mastercard comme partenaire.

De son côté, le GS1, l'organisme mondial en charge de la normalisation des méthodes de codage utilisées dans la chaîne logistique et qui développe notamment les standards GTIN, GLN et EPCIS (Electronic Product Code Information Services), travaille également avec de nombreuses plateformes de traçabilité blockchains afin d'assurer l'intégration avec les systèmes de suivi et les logiciels ERP, *Enterprise Ressource Planning*, en français Progiciel de Gestion Intégré, traditionnellement utilisés dans le secteur de l'agro-alimentaire³⁴. Les code-barres GS1 sont scannés quotidiennement plus de six milliards de fois dans le monde.

IBM Food Trust

Les problématiques en termes de sécurité alimentaire sont à l'origine des innovations qui ont donné naissance à l'IBM Food Trust. En 2015, de nouvelles lois en Chine notamment la *Safety Food Law*³⁵ viennent renforcer les contrôles en termes de production, transformation et transport de produits alimentaires.

Au même moment, des acteurs comme Walmart étaient en proie à des problématiques de sécurité alimentaire. Ce dernier a lancé en 2016 le *Walmart Food Safety Collaboration Center* à Pékin. Il a également lancé deux projets test en 2017 avec la technologie blockchain d'IBM, Hyperledger Fabric et l'appui de l'université chinoise Tsinghua. L'un sur le porc en Chine, l'autre sur les mangues en provenance d'Amérique du Sud. L'objectif d'alors, qui est toujours le même aujourd'hui, était d'intégrer des points de la chaîne d'approvisionnement du produit *via* la blockchain d'IBM afin de pouvoir remonter exactement à son origine en un temps record : 2,2 secondes annoncées dans le cas des mangues tracées *via* la blockchain contre 7 jours auparavant.

Une «*traçabilité complète de A à Z* » selon IBM qui apporte un gain de temps considérable pour les activités des

distributeurs dans le cadre d'une crise sanitaire, mais aussi une économie d'argent étant donné que les lots à retirer du marché peuvent être ciblés de façon très précise et le problème d'origine plus rapidement résolu.

En cas de crise sanitaire, des lignes de produits entières sont généralement détruites et la communication de crise détériore la confiance du consommateur envers le produit et la marque. En décembre 2017, IBM a lancé la *Blockchain Food Safety Alliance*³⁶ avec plusieurs partenaires dont Walmart, l'université de Tsinghua en Chine et le géant du e-commerce chinois JD.com, dans le but de standardiser une méthode de traçabilité avec la plateforme blockchain d'IBM. Fort de ces débuts prometteurs, largement relayés, IBM a fondé l'IBM Food Trust pour les marchés américains et européens.

Aujourd'hui, IBM Food Trust est une solution présentée comme mature et adaptée à différents types et tailles d'acteurs du système alimentaire. La solution propose différents modules liés à la traçabilité et compte parmi ses clients Walmart (plus de 25 produits dont mangues, salades, fraises), la *Norwegian Seafood Trust*³⁷ (saumon norvégien), CHO (huile d'olive tunisienne), Carrefour (poulets, orange, lait, fromage

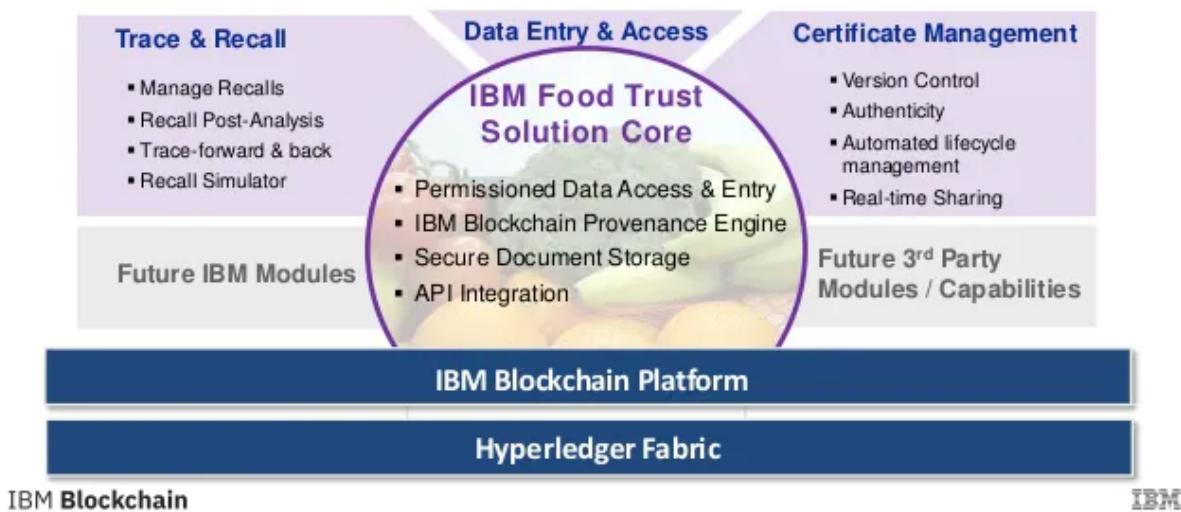
35 « Food Safety Law of the People's Republic of China (2015) », HFP Law & Intellectual Property, 2016, https://www.hfgip.com/sites/default/files/law/food_safety - 16.02.2016.pdf

36 « Blockchain in food safety », IBM Food Trust, retrieved July 21, 2022, <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/category/blockchain-in-food-safety/>

37 « Safe food – from fjord to table », Norwegian Sea Food Trust Alliance, retrieved July 20, 2022, <https://norwegianseafoodtrust.no/>



The IBM Food Trust solution is a set of modules built for the industry



IBM Food Trust. Source : IBM, <https://www.ibm.com/fr-fr/blockchain/solutions/food-trust>



entre autres), Albertsons (laitue), Nestlé (marques de café), Heifer (cacao et café du Honduras), Tyson Foods (viande de boeuf, Sustainable Shrimp Partnership (crevettes de l'Equateur), Raw Seafoods (fruits de mer), Golden State Foods (viande pour fast-food), SecQuAL (porc anglais) et bien d'autres.

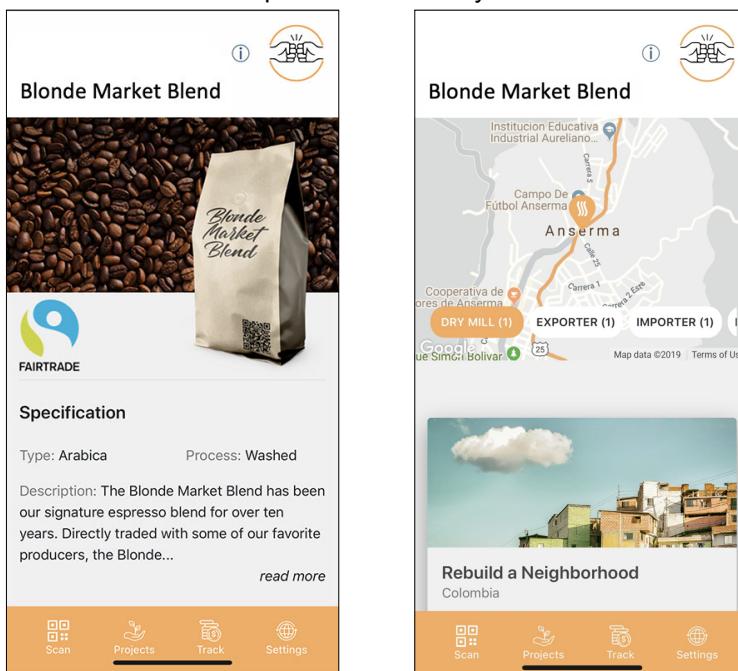
Les différents comptes utilisateurs définissent à quel moment les fournisseurs peuvent télécharger chaque type de données. Il peut parfois s'agir d'un simple enregistrement d'un logisticien, comme par exemple la réception d'un chargement d'huile d'olive dans un entrepôt. L'information est partagée via un logiciel avec les acteurs partenaires (distributeurs, intermédiaires, supermarchés, etc.) et comme les données sont consignées dans une blockchain, elles ne peuvent être altérées ou supprimées pour corriger des erreurs

potentielles. D'autres informations concernent des données d'audit, des numéros d'identification, des noms de fournisseurs, des autorisations ou certifications. Les producteurs peuvent, par exemple, utiliser un smartphone pour enregistrer l'information d'origine, les coordonnées GPS, l'heure, les données de productions au même moment que ces informations sont apposées sur un sac de café ou une livraison de crevettes qui sortent de l'océan. Les consommateurs finaux peuvent voir les mêmes informations sélectionnées et présentées dans une application destinée au consommateur final.

Exemple avec Farmer Connect :

La solution de Farmer Connect a été développée en Suisse en 2019 en utilisant la plateforme IBM Food Trust. Le consommateur scanne le code-barres

Application « Thank my Farmer »,
Source : <https://www.thankmyfarmer.com/>



sur le paquet de café avec l'application « *Thank my farmer* » et accède alors à l'histoire du fermier et au chemin du sac de café sur une carte interactive. Des projets durables peuvent aussi être soutenus directement via l'application. L'idée est de créer un lien entre les deux extrémités de la chaîne du café, du producteur au consommateur. « *Le but est d'humaniser la relation de chaque buveur de café avec sa tasse quotidienne. Les consommateurs peuvent maintenant jouer un rôle actif dans la gouvernance de la durabilité en soutenant les producteurs de café des pays en développement* » explique David Behrends, fondateur et président de Farmer Connect.

La société a clôturé en 2021 une levée de fonds de 9 millions de dollars en série A et déploie sa solution avec de nombreux distributeurs de café parmi lesquels UCC Coffee (UK), Beyers Koffie, The

Colombian Coffee Growers Federation (FNC), ITOCHU Corporation, Jacobs Douwe Egberts (JDE), The J.M. Smucker Company, Rabobank, RGC Coffee, Volcafe, Sucafina and Yara International.

Le rôle central du consommateur

Les projets de traçabilité blockchains permettent de renforcer la vigilance et la capacité de réaction face à des problématiques de sécurité alimentaire. Cela bénéficie certes aux acteurs en amont du système alimentaire, aux marques et distributeurs, mais aussi au consommateur qui doit être remis au centre du débat. « *En 2020, de nombreux consommateurs ont pris conscience du caractère absolument essentiel de notre système alimentaire, s'interrogeant aussi bien sur l'approvisionnement des rayons de supermarché que sur l'impact environnemental de la production*



agroalimentaire. Tandis que nous œuvrerons pour la reprise économique, il sera absolument nécessaire de tisser un lien de confiance entre les consommateurs et le secteur agroalimentaire si nous voulons une meilleure alimentation pour tous » remarque Saskia Nuijten, directrice de la communication et de l'engagement public chez EIT Food. Selon une récente étude de l'EIT Food, « *seuls quatre consommateurs sur dix (40 %) sont convaincus que les produits alimentaires qu'ils achètent sont généralement authentiques, plutôt que faux ou artificiels (...) et 55 % jugent les aliments généralement sûrs* »³⁸. Un rapport plus récent de l'EIT³⁹ estime que 91 % des consommateurs réclament plus de transparence de la part des marques alimentaires.

Exemple avec Connecting Food :

Connecting Food est une *startup* française lancée en 2016 pour tenter de résoudre les problèmes majeurs de la transparence alimentaire et de la sécurité des produits et de la confiance des consommateurs. La technologie Hyperledger a été choisie pour développer Connecting Food. Outre les solutions de traçabilité pour l'ensemble des acteurs des filières agro-alimentaire, un point innovant de la solution Connecting Food est l'accent mis sur la capacité d'audit en temps réel de la qualité des produits avec le module LiveAudit®.

En effet, les réglementations en sécurité alimentaire exigent des audits et contrôles mais ceux-ci ne se réalisent en réalité que sur une faible proportion de produits testés.

La solution en temps réel est un gage de sécurité et de confiance à la fois pour les marques, et pour les consommateurs, qui accèdent aux informations en scannant un QR Code sur l'étiquette des produits. Après avoir complété sept pilotes industriels en 2019, passant de 4 à 27 employés l'année suivante, Connecting Food s'est implantée sur le marché américain en 2021, et s'impose aujourd'hui comme un acteur solide de l'écosystème. Connecting Food opère actuellement dans sept pays à travers le monde et travaille avec de nombreux clients que ce soit des coopératives agricoles ou des géants industriels comme Nestlé, Mondelez ou General Mills.

L'étiquetage en temps réel dans le cadre de la guerre en Ukraine

Une problématique récente est survenue suite aux fortes perturbations des chaînes d'approvisionnement des céréales liées à la guerre en Ukraine. Les fabricants d'huile de tournesol ont en effet demandé une dérogation au gouvernement pour utiliser des produits de substitution (huile de colza, de palme...), sans

38 « Deux tiers des consommateurs européens ont confiance dans leurs agriculteurs », Pour Nourrir Demain, 20 Janvier 2021, <https://www.pour-nourrir-demain.fr/deux-tiers-des-consommateurs-europeens-ont-confiance-dans-leurs-agriculteurs>

39 Etude Kantar Protéines XTC et Gira pour le SIAL 2020.

pour autant changer l'étiquetage⁴⁰. La réalité industrielle prend ici le dessus sur le besoin de transparence du consommateur.

Transparence et efficacité des chaînes logistiques

Nous voulons ici mettre en avant un autre bénéfice, en plus de la transparence, des systèmes de traçabilité sur blockchains pour les chaînes alimentaires. L'implémentation de ces derniers peut en effet mettre à jour des déficiences dans la logistique du produit. C'est ainsi que le pilote sur les mangues de Walmart a permis de réduire les temps de transit aux douanes, ce qui *in fine* permet d'avoir des produits disponibles plus frais et potentiellement de réduire le gaspillage pendant le transport.

L'écosystème de la traçabilité blockchain

En matière de blockchains et de traçabilité, les expérimentations d'IBM se sont accompagnées d'une quantité impressionnante de projets. En 2016 déjà, la société **Provenance** a expérimenté des solutions de traçage des thons indonésiens *via* une blockchain⁴¹, puis en 2018 les participants du sommet Ethereal

organisé par **ConsenSys** pouvait scanner le QR code de leur barquette de sushi tracée sur une blockchain Ethereum grâce à la société **Viant**⁴².

Le secteur évolue rapidement, ce qui montre que les blockchains ont fait leurs preuves comme technologies innovantes en faveur de l'amélioration de nos systèmes alimentaires. La base de données de PositiveBlockchain répertorie pas moins de 90 projets liés à la traçabilité alimentaire. Si certaines solutions se veulent généralistes et proposent des solutions très modulables, d'autres visent en priorité des produits et marchés de niche pour s'adapter aux spécificités : cacao, café, huile de palme, laitue, porc, fruits de mer, bœuf, céréales, chocolat, thon, bananes, noix de coco, riz, vins et spiritueux, etc.

Ci-dessous quelques projets et actualités notables dans le domaine de la traçabilité alimentaire par les blockchains :

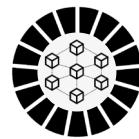
- Walmart compte demander à l'ensemble des fournisseurs de laitue et d'épinards aux Etats-Unis de tracer leurs produits *via* leur blockchain⁴³
- ADM, Bunge Ltd., Cargill et Louis

40 « Huile de tournesol: l'étiquette doit refléter en temps réel la réalité des ingrédients et leurs origines », Yves Puget, LSA-conso, April 29, 2022, <https://www.lsa-conso.fr/huile-de-tournesol-l-etiquette-doit-refleter-en-temps-reel-la-realite-des-ingradients-et-leurs-origines.410141>

41 « From shore to plate: Tracking tuna on the blockchain », Provenance, retrieved May 19, 2022, <https://www.provenance.org/tracking-tuna-on-the-blockchain>

42 « Moral Food: A Fish's Trek From 'Bait to Plate' on the Ethereum Blockchain », Alyssa Hertig, Coindesk, May 13 2018, <https://www.coindesk.com/markets/2018/05/13/moral-food-a-fishs-trek-from-bait-to-plate-on-the-ethereum-blockchain/> (Viant est aujourd'hui appelée Treum)

43 « Walmart prévoit de suivre ses salades en utilisant la blockchain d'ici 2019 », Carine Kren, 25 setembre 2018, coursCryptomonnaies.com, <https://coursCryptomonnaies.com/actualite/walmart-prevoit-de-suivre-ses-salades-en-utilisant-la-blockchain-dici-2019>



Dreyfus Companies déploient une solution blockchain pour standardiser et digitaliser le transport logistique de produits alimentaires⁴⁴

- Alibaba a développé son *Food Trust framework* et déposé plus de 90 brevets liés à la technologie blockchain⁴⁵
- Wipro a rejoint la *Blockchain in Transport Alliance*⁴⁶, une organisation focalisée sur le transport et la logistique avec des applications dans l'agro-alimentaire
- Starbucks développe, avec Microsoft, un système de traçabilité et une application basée sur une blockchain⁴⁷
- UNDP Accelerator Lab India lance un pilote sur le marché des épices en Inde avec une application blockchain de traçabilité et de *trading*⁴⁸.

De nombreuses *startups* et entreprises proposent dorénavant des solutions de traçabilité logistique qui reposent sur une blockchain :

- **Ripe.io**, fondée à San Francisco en 2017, la société a annoncé en 2019 développer une solution logicielle basée sur la blockchain privée R3's Corda Enterprise sur Microsoft Azure.
- **FoodLogiQ**, lancée aux Etats-Unis en 2006, s'est convertie à la traçabilité *via* une blockchain.
- **TE-Food**, la *startup* aux 6 000 clients propose sa blockchain « TrustChain » à de nombreux acteurs de l'industrie agro-alimentaire comme Chipotle, Auchan, Whole Food, Conagra, Tyson Foods et opère principalement dans les pays émergents.
- **SkuChain**, fondée en 2014 en Californie aux Etats-Unis, est spécialisée dans la chaîne logistique. Elle propose une plateforme blockchain, « *Enterprise Collaborative Commerce Cloud* » (EC3), pour assurer la gestion des contrats, achats, flux financiers et d'informations dans le commerce international de nombreuses industries y compris l'agro-alimentaire.

44 « ADM, Bunge, Cargill and Louis Dreyfus form partnership », Holly Demaree-Saddler, October 25, 2018, worldgrain.com, <https://www.world-grain.com/articles/11148-adm-bunge-cargill-and-louis-dreyfus-form-partnership>

45 « Alibaba en tête de la liste des brevets de la blockchain », Coinrivet, September 4, 2018, <https://coinrivet.com/fr/alibaba-tops-blockchain-patents-list/>

46 « Wipro joins Bita to drive Blockchain adoption in the transportation industry », Wipro, August 30, 2018, <https://www.wipro.com/newsroom/press-releases/2018/wipro-joins-bitato-drive-blockchain-adoption-in-the-transportation-industry/>

47 « Starbucks' Blockchain Allows Traceability to 380,000 Coffee Farms! », Peter Vogel, Foley & Lardner L&P, May 10, 2019, <https://www.foley.com/en/insights/publications/2019/05/starbucks-blockchain-allows-traceability-farms>

48 « Accelerating agri-tech to transform food systems », Swetha Kolluri, Krishnan S Raghavan, Rozita Singh, The Pioneer, January 10, 2022, <https://www.dailypiStarbucks' Blockchain Allows Traceability to 380,000 Coffee Farms! | Blogs | Internet, IT & e-Discovery Blog | Foley & Lardner LLPioneer.com/2022/columnists/accelerating-agri-tech-to-transform-food-systems.html>

- **Provenance**, une *startup* anglaise développe sur la blockchain publique Ethereum une solution de transparence de la chaîne logistique alimentaire mais également dans les secteurs de la beauté et de la mode.
- **VeChain**, *startup* lancée en Chine en 2015, et qui développe sa propre technologie blockchain, propose une solution SaaS⁴⁹ « ToolChain » pour la traçabilité des produits de luxe, de collection mais aussi pour l'agro-alimentaire.
- **OriginTrail**, lancé depuis la Slovénie, est construit sur les blockchains publiques Ethereum, xDAI et Polygon et offre un protocole d'échange de données (le *OriginTrail Decentralized Knowledge Graph* ou « DKG ») appliqué, entre autres, à la chaîne logistique.
- Des acteurs comme **TraceLab**, soutenus par des fonds européens, testent la solution d'OriginTrail (voir *supra*) dans le cadre de l'agriculture biologique.
- **Ambrosus** développe, depuis 2017 en Suisse, une plateforme, appelée AMB-NET, également focalisée sur la traçabilité dans la chaîne logistique et notamment alimentaire, à partir de composants liés à l'internet des objets (IoT).
- **SAP**, l'éditeur de logiciel allemand de solutions de gestion et de maintenance a lancé une division spécialisée, nommée **SAP**

Blockchain Business Services, pour proposer sa plateforme blockchain aux industriels et organisations agro-alimentaires. Elle a notamment démontré sa solution avec **Bumble Bee Foods** dès 2019 pour la traçabilité de son thon jaune indonésien, de l'océan à l'assiette.

La tokenisation des actifs agricoles

Si l'utilisation d'une blockchain dans le cadre de la traçabilité alimentaire semble faire l'unanimité, il existe d'autres cas d'application de la technologie notamment grâce à la tokenisation des actifs agricoles. La tokenisation* d'actifs agricoles tente de résoudre la problématique des pertes de revenus liées à l'inflation pour les agriculteurs, leur permettant ainsi de moins dépendre des fluctuations du cours de leur monnaie pour se fournir en intrant et en matériel agricole.

C'est le cas notamment en Argentine, où les exportations agricoles sont la principale source de devises. Elles représentent 75% des exportations argentines et presque 10 % du Produit intérieur brut (PIB). De plus, l'Argentine se caractérise par une très forte instabilité du cours de sa monnaie, le peso.

49 Software as a service, logiciel en tant que service : logiciel accédé à partir d'un navigateur web.



Un agriculteur vendant ses produits en pesos peut donc voir la valeur de sa vente fondre en l'espace de quelques jours⁵⁰. Ainsi, émettre un token, collatéralisé sur des denrées réelles, permet à l'agriculteur d'accéder à un crypto-actif indexé au cours de celles-ci, afin de pouvoir continuer à se fournir en intrant et en matériel, échappant ainsi à une éventuelle dévaluation de sa monnaie.

Des projets émergent pour proposer des crypto-actifs basés sur des actifs agricoles comme le soja. C'est le cas avec le « cryptosoja » lancé par la plateforme **Agrotoken**, ou d'un récent partenariat entre **CoreLedger** (services d'infrastructures blockchains) et **Abakus** (services financiers *peer-to-peer*). D'après Martin Furst, CEO d'Abakus «*les tokens adossés à l'agriculture peuvent résoudre les problèmes de volatilité et de liquidité inhérents aux plans d'épargne en espèces et en actions. La tokenisation des actifs agricoles apporte une plus grande liberté aux agriculteurs qui peuvent désormais vendre les actifs adossés physiquement en fonction de leurs propres besoins.*» Ces tokens ont donc pour avantage de ne pas être soumis à la dévaluation des devises monétaires nationales due à l'inflation.

Hive Online (voir Chapitre « Monnaie pair-à-pair et Argent Programmable ») souhaite se servir de la tokenisation* d'actifs agricoles produits au sein d'une communauté pour établir des

équivalences entre ces denrées afin de les échanger entre elles. Concrètement, si 1 000 noix de cajou et 100 briques de lait sont produites au sein d'une communauté, chaque noix et chaque brique sera enregistrée dans une blockchain puis tokenisée. Ainsi, il sera possible de s'échanger 10 tokens noix de cajou pour obtenir une brique de lait.

Quant à Grassroot Economics (voir Chapitre « Monnaie pair-à-pair et Argent Programmable »), il utilise les quantités de denrées agricoles produites dans une communauté donnée comme collatéral à l'émission de bons d'achat électronique, appelé *Community Inclusion Currency - CIC*). Ces CICs sont utilisables comme moyen de paiement uniquement au sein de cette communauté. Les différentes denrées sont enregistrées sur une blockchain, de sorte à tenir un registre partagé et actualisé des quantités produites. Ensuite, les CIC sont émis, correspondant à la quantité de denrées produites. Ainsi, il ne peut pas être émis plus de CIC qu'il n'y a d'équivalent en denrées au sein de la communauté.

Ces deux projets, assez différents dans leur fonctionnement, partagent tout de même un point commun. La production agricole n'est plus subordonnée à la fluctuation des prix des marchés mondiaux des matières premières et des produits agricoles, mais c'est la fluctuation des prix qui est subordonnée aux ressources agricoles produites

50 « Hard-Hit Argentinian Farmers May Get Boost From Trading Platform for Tokenized Produce », Sébastien Sinclair, Coindesk, January 28, 2021, <https://www.coindesk.com/tech/2021/01/28/hard-hit-argentinian-farmers-may-get-boost-from-trading-platform-for-tokenized-produce/>

au sein de la communauté. Ces deux projets laissent entrevoir l'émergence d'une nouvelle économie, au service des agriculteurs, rendue possible grâce à l'utilisation des blockchains.

Agriculture et protection de l'environnement

D'après le *European Environment Bureau*⁵¹, le secteur de l'agriculture est responsable de 26 % des émissions de CO₂ globales causées par l'activité humaine.

La politique agricole commune (PAC) gérée par la Commission européenne met déjà en place un certain nombre de programmes d'incitation et de financement des pratiques respectueuses de l'environnement via les « éco-régimes » et les « mesures agro-environnementales et climatiques » (MAEC⁵²). Il existe également un mécanisme d'échange de quotas d'émission de l'Union Européenne (ETS), un règlement sur l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (UTCATF), et depuis 2021, un règlement nommé « Effort Sharing Regulation⁵³ », issu du programme européen « Fit-for-55⁵⁴ » pour répartir l'effort de réduction des émissions entre chaque État membre. Des mécanismes jugés pour le moment peu efficaces pour atteindre les Objectifs de développement durable en matière climatique⁵⁵.

51 « Beyond net-zero emission in agriculture: Creating an enabling climate governance for agriculture », European Environmental Bureau, retrieved May 19, 2022, <https://eeb.org/library/beyond-net-zero-emission-in-agriculture/>

52 « Mesures agro-environnementales et climatique (MAEC) et aides à l'agriculture biologique », France, Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire, 11 mars 2022, <https://agriculture.gouv.fr/mesures-agro-environnementales-et-climatique-maec-et-aides-lagriculture-biologique>

53 « Questions and Answers - The Effort Sharing Regulation and Land, Forestry and Agriculture Regulation », European Commission, July 14, 2021, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ganda_21_3543

54 « Ajustement à l'objectif 55», Conseil de l'Union Européenne, <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

55 « L'Union européenne a échoué à réduire les émissions de CO₂ dans l'agriculture, selon la Cour des



Les pistes pour réduire les émissions de gaz à effet de serre au niveau agricole sont variées, comme notamment, la séquestration du carbone dans les sols (« *carbon farming* »), l'utilisation de la biomasse, les pratiques de l'agriculture régénérative, la promotion de la sylviculture pour l'exploitation rationnelle des arbres forestiers, l'utilisation de fertilisants plus naturels, la réduction des pesticides, effluents et autres produits chimiques ou la promotion de l'agriculture biologique (Voir Chapitre « Environnement et climat »). Afin de promouvoir ces pratiques et d'atteindre les objectifs de réduction de CO₂, des mesures de soutien et de financement plus efficaces sont nécessaires.

La mise en place d'un marché carbone pour les agricultures décidée en 2020 par la Commission européenne suit ainsi cet objectif tout en permettant d'accroître les revenus agricoles⁵⁶. D'après une étude publiée par le cabinet McKinsey, la demande mondiale en crédit carbone devrait être multipliée par quinze d'ici 2030 et 100 d'ici 2050⁵⁷. Les projets de réduction ou séquestration agricoles peuvent apporter la source de crédit carbone dont le marché a besoin, ce qui en retour permet de faciliter le financement de ces mêmes projets.

Et ce serait une aubaine pour l'Union Européenne qui a fixé en 2019, dans son Pacte vert, l'objectif de neutralité carbone pour 2050.

Néanmoins, le mécanisme européen est loin d'être en place. Les marchés carbone libres, eux, sont très fragmentés, opaques, complexes et peu accessibles pour les projets environnementaux. De nombreux acteurs explorent ainsi le potentiel des blockchains pour faciliter l'émission, la traçabilité et les systèmes d'échange de crédits carbone comme **KlimaDAO**, **Regen Ledger** ou le **Cambridge Carbon for Credit Center** dont nous parlons dans le Chapitre « Environnement et climat », mais aussi **IXO**, dont nous parlons dans le Chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable », travaillant dans le domaine de la vérification d'impact.

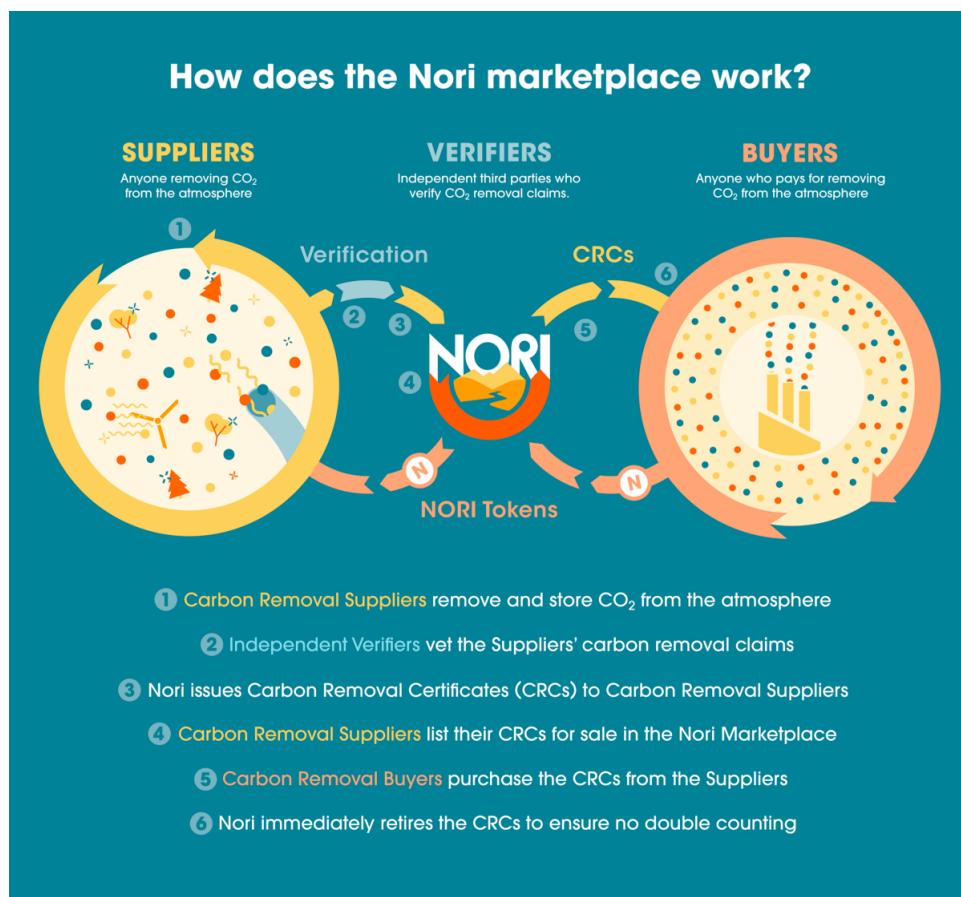
A noter qu'un certain nombre de ces projets sont actuellement à l'œuvre dans le domaine de la traçabilité carbone en lien avec l'agriculture comme par exemple **Nori**, **eAgronom** ou **Verity Tracking** que nous présentons rapidement ici.

Nori est une start-up américaine créée en 2017 pour adresser le problème des crédits carbone agricole.

comptes », Belga, RTBF, 21 Juin 2021, https://www.rtbf.be/info/monde/europe/detail_l-union-europeenne-a-echoue-a-reduire-les-emissions-de-co2-dans-l-agriculture-selon-la-cour-des-comptes?id=10788603

56 « Le Parlement européen donne son feu vert pour un régime de crédits carbone pour le secteur agricole », Cultiveille, Cultivar, Oct 14 2020, <https://www.cultivar.fr/sinformer/le-parlement-europeen-donne-son-feu-vert-pour-un-regime-de-credits-carbone-pour-le-secteur>

57 « A blueprint for scaling voluntary carbon markets to meet the climate challenge », Christopher Blaufelder, Cindy Levy, Peter Mannion, and Dickon Pinner, McKinsey Sustainability, January 29, 2021, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/a-blueprint-for-scaling-voluntary-carbon-markets-to-meet-the-climate-challenge>



Source : Nori, <https://medium.com/nori-carbon-removal>

L'objectif de Nori était alors de concevoir un système dans lequel chaque dollar investi pourrait servir à enlever du carbone de l'atmosphère. Nori a levé 7 millions de dollars en série A en 2022 et travaillait en février avec dix fermes dont les agriculteurs ont reçu jusqu'à présent 1 million de dollars de revenu, avec 2 200 transactions d'acheteurs de crédits carbone⁵⁸.

Nori gère deux actifs différents, un NRT et le Nori Token. Le NRT est un « *Nori Carbon Removal Tonne* » qui représente une tonne de CO₂ retirée de l'atmosphère pendant au moins dix ans. Un fournisseur de NRT peut alors les enregistrer sur le marché Nori.

Les NRT, à leur tour, sont vendus directement aux particuliers et aux organisations qui cherchent à atténuer les émissions de carbone.

eAgronomie est une *startup* estonienne qui développe des solutions de gestion et de financement agricole. La société dispose d'un programme carbone basé sur une blockchain et a levé 2,3 millions d'euros en 2022 pour son projet de DAO* Solid World basé sur un fork* d'**OlympusDAO**. La DAO va utiliser des crédits carbone agricoles pré-certifiés comme réserve afin d'apporter la liquidité nécessaire aux porteurs de

58 « Immune to irony, Nori puts a carbon market on the blockchain », Haje Jan Kamps, techcrunch.com, February 24, 2022, <https://techcrunch.com/2022/02/24/nori-series-a-carbon-blockchain/>



projets environnementaux dans le domaine agricole. En effet, la certification des projets carbone et donc la garantie du financement de ce type de projets, peut prendre parfois jusqu'à cinq ans, ce qui constitue un frein pour le développement des solutions environnementales efficaces. Les crédits pré-certifiés seront émis en tant que SCT (Solid Carbon Ton), et les autres co-bénéfices environnementaux des projets seront émis sous la forme de tokens non-fongibles (NFTs ERC-721).

Les acheteurs et investisseurs peuvent donc choisir d'investir à la fois pour la compensation carbone ou pour la contribution à certains Objectifs de développement durable adressés par le projet (biodiversité, inclusion, protection des ressources naturelles, etc.).

Verity-Tracking est une autre start-up active dans le domaine agricole. La *Joint Venture* est issue de la collaboration entre la startup allemande **Blocksize-Capital** (infrastructure de *trading* d'assets digitaux) et la société cotée du **Colorado Gevo**. Cette dernière transforme des matières premières et déchets agricoles en produits chimiques et en éthanol, notamment pour la production de biocarburants dans le domaine de l'aviation. Comme l'illustre le visuel (voir *infra*), le but de Gevo est de maximiser les principes d'économie circulaire et les pratiques durables dans sa chaîne de valeur afin de réduire le plus possible l'intensité carbone de ses biocarburants.

C'est en particulier l'objectif de l'usine **Net-Zero 1** qui devrait voir le jour en 2024. Verity Tracking a ainsi été développée pour tracer l'ensemble des facteurs d'émission au niveau des champs agricoles, du transport et de la distribution, et de la production de biocarburants, en utilisant des modèles scientifiques basés entre autres sur l'Argonne GREET⁵⁹ aux Etats-Unis ou le *Renewable Energy Directive II*⁶⁰ en Europe. Ces données sont tracées via une blockchain et échangées tout au long de la chaîne de valeur sous forme de tokens représentant le produit (brut ou transformé en biocarburant), son intensité carbone ainsi que d'autres données de traçabilité, mais aussi la quantité de carbone potentiellement séquestrée par les agriculteurs partenaires s'engageant dans une démarche d'agriculture régénératrice.

Une compagnie d'aviation pourrait ainsi acheter du biocarburant prouvé bas carbone, mais aussi y associer les certificats « crédits carbone » liés directement à la production de ces biocarburants. De leur point de vue, c'est une façon innovante de transformer leurs programmes classiques de compensation carbone externe (par exemple en achetant des crédits carbone forestiers) en effort de réduction au sein même de leur chaîne d'approvisionnement (scope 3⁶¹).

59 GREET, Argonne, retrieved July 20, 2022, <https://greet.es.anl.gov>

60 « Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II) », European commission, retrieved Jul 20 2022, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/reference-regulatory-framework/renewable-energy-recast-2030-red-ii_en

61 Les émissions carbone des entreprises sont réparties en trois scope (champs d'application) : Le scope 1 désigne tous les gaz à effet de serre émis directement par l'entreprise, le scope 2 vise les émissions indirectes et celles liées à l'énergie et le scope 3 concerne toutes les émissions indirectes de



Source : Gevo, <https://gevo.com/>

On parle alors d'un programme d'« *insetting*⁶² ». Verity a signé des accords avec des partenaires technologiques comme FarmersEdge⁶³ et Google Cloud⁶⁴ en 2022 afin de renforcer ses capacités de Mesure, Reporting et Vérification (MRV) des projets tracés. La startup développe en 2022 un programme pilote avec plus de vingt agriculteurs aux Etats-Unis.

Citons enfin **Traca-blé**, une solution française de traçabilité du blé lancée par la Filière CRC® - Culture Raisonnée Contrôlée en partenariat avec la société **Crystalchain**. « *Accessible dans un premier temps uniquement aux acteurs de la Filière CRC®, cette plateforme viendra renforcer la chaîne de traçabilité en rendant possible la consolidation de données jusque-là cloisonnées⁶⁵* ».

carbone.

62 L'*insetting* signifie évaluer, réduire et compenser l'empreinte climatique et environnementale d'une entreprise en développant des projets d'impact socio-environnemental au sein de sa chaîne de valeur, et les valoriser afin de construire une société durable. Source : <https://www.purprojet.com/fr/insetting/#:~:text=L'insetting%20signifie%20%C3%A9valuer%20r%C3%A9duire.de%20construire%20une%20soci%C3%A9t%C3%A9%20durable>.

63 « Gevo and Farmers Edge Partner to Verify Sustainable Fuels from Low-Carbon Grain through Verity Tracking », Verity Tracking, retrieved July 20, 2022, <https://www.veritytracking.com/news/gevo-and-farmers-edge-partner-to-verify-sustainable-fuels-from-low-carbon-grain-through-verity-tracking/>

64 « In a collaboration with google cloud, gevo to measure and verify the carbon intensity of biofuels across the supply chain utilizing verity tracking », Verity Tracking, retrieved July 20, 2022, <https://www.veritytracking.com/news/in-a-collaboration-with-googlecloud-gevo-to-measure-and-verify-the-carbon-intensity-of-biofuels-across-the-supply-chain-utilizing-verity-tracking/>

65 « La filière crc lance « traça-blé », une solution blockchain pour valoriser ses données de traçabilité »,



Il existe de nombreux autres projets et startups actifs dans ce domaine comme **Dovu** ou le **Regen Network** (Voir Chapitre « Environnement et climat »).

Blockchains et marchés agricoles

Un autre domaine d'application des technologies blockchains dans le domaine agricole est celui de la création de plateformes et marchés d'échange.

Gavea s'est ainsi lancée comme l'une des premières plateformes OTC (Over-The-Counter⁶⁶) dans le marché des commodities agricoles notamment pour le maïs et le soja. Après tout juste un an de lancement, la startup brésilienne a annoncé avoir supporté 2,3 milliards de dollars de volume d'échange, soit environ 6 millions de tonnes de produits⁶⁷. La plateforme promeut la responsabilité sociale des acteurs impliqués avec des vérifications de critères Environnementaux, Sociaux et de Gouvernance (ESG) faites à plusieurs niveaux ainsi qu'une traçabilité complète des contreparties sur les positions de trading (Voir Graphique 1). La blockchain utilisée permet également de supprimer l'intermédiaire entre acheteurs et vendeurs, réduisant les coûts et augmentant la rapidité des échanges. La startup prévoit de tokeniser d'autres commodities comme le sucre, blé, le coton, et prévoit également de proposer des produits des produits

financiers tels que des crédits pour les producteurs.

En Inde, **Agri10x** est une autre plateforme qui propose un protocole de coopérative en ligne pour l'échange de biens agricoles (Voir Graphique 2). Agri10x propose différents modules de logistique, de stockage, de place de marché ou d'outils financiers (*fintech*). La startup s'appuie sur la blockchain publique Polygon depuis la fin de l'année 2021. Agri10x revendique « « quelque 150 000 agriculteurs et 6 000 fournisseurs qui échangeraient avec plus de 4 200 négociants au moins 80 commodities dans 10 États de l'Inde⁶⁸ ».

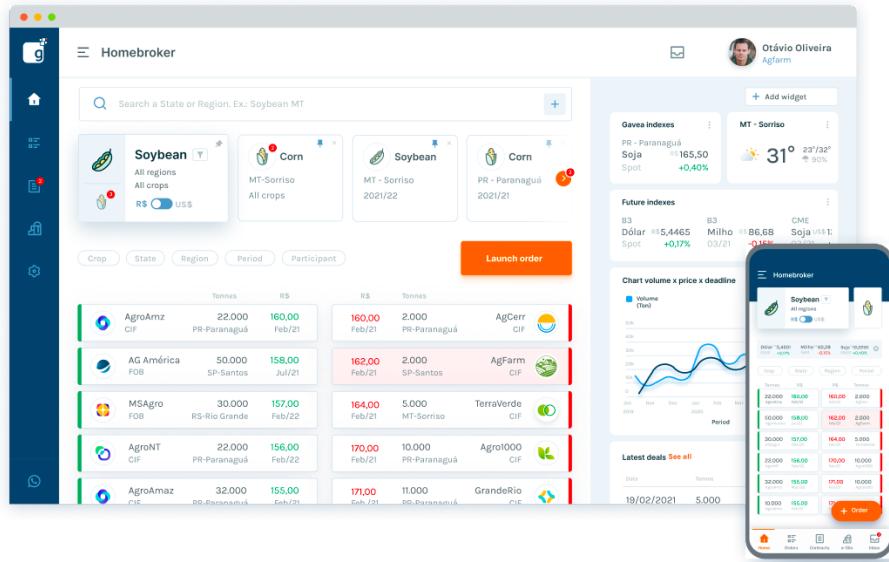
Agri10x développe les filières à l'export pour les agriculteurs indiens, notamment vers Dubaï, Singapour, la Malaisie, le Qatar, Oman, le Cambodge ou encore l'Indonésie. La société veut stimuler le développement de l'agriculture en Inde et répondre à l'ensemble des problématiques des agriculteurs y compris en les accompagnant sur les étapes de financement ou de gestion agronomique des sols et fertilisants. Malheureusement, même si le livre blanc du projet présente les concepts généraux, peu d'informations sont disponibles quant au fonctionnement exact des modules sur le protocole blockchain.

Référence Agro, 1^{er} Mars 2022, <https://www.reference-agro.fr/innovation/la-filiere-crc-lance-traca-ble-une-solution-blockchain-pour-valoriser-ses-donnees-de-tracabilite/>

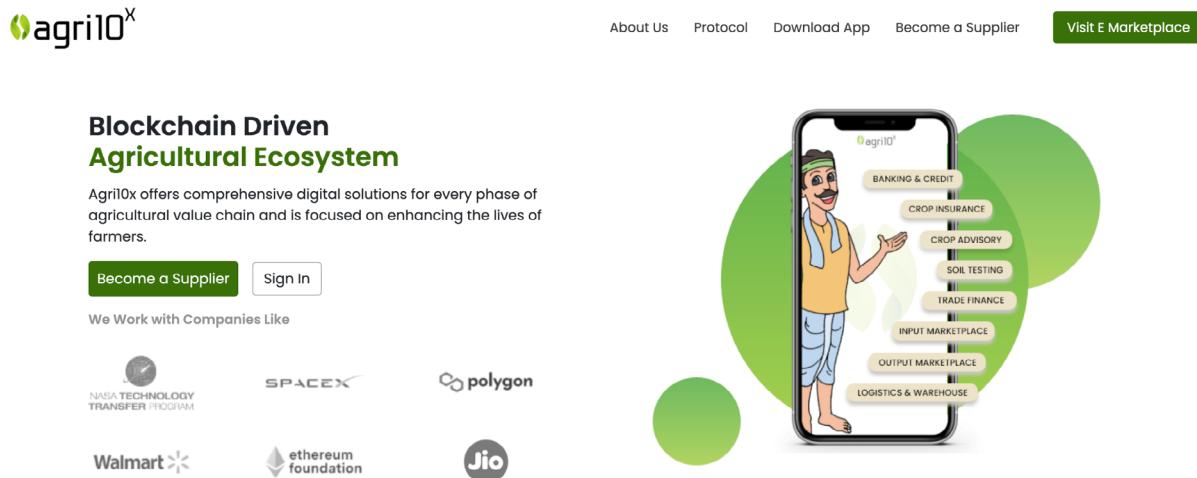
66 Marché hors cote ou marché de gré à gré qui ne passent pas par un intermédiaire.

67 « Gavea Blockchain commodities exchange exceeds US\$ 2 billion in bids and offers », Redação Crania, June 21, 2022, crania.com, <https://crania.com.br/2022/06/21/gavea-blockchain-commodities-exchange-exceeds-2-billion-in-bids-and-offers/>

68 « Blockchain Driven Agricultural Ecosystem », Agri10x, retrieved July 20, 2022, <https://www.agri10x.com/>



Graphique 1. Source: « The Best Place to trade commodities », Gavea, retrieved Jul 21 2022, <https://gavea.com/>



Graphique 2. Source: www.agri10x.com



ENJEUX ET QUESTIONS

Si des initiatives blockchains s'enquièrent d'assurer la traçabilité des produits de l'agriculture, l'un des premiers enjeux tient à l'accessibilité de ces technologies par les premiers concernés : les agriculteurs et les travailleurs agricoles. La qualité des données d'une chaîne logistique dépend en grande partie des informations renseignées par chacun des acteurs qui la composent.

Comment rendre ces outils accessibles à une population qui parfois ne sait ni lire, ni écrire, et qui ne possède pas d'appareils électroniques ? Qu'en est-il de l'accès à internet, première condition pour que ces systèmes fonctionnent ? Sur le continent africain, seuls 33 % des espaces agricoles sont couverts par la 3 ou 4G¹. Hive Online, dont nous parlons dans le chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable », promeut le regroupement des agriculteurs sous la forme de coopératives afin de faciliter leur accès à des financements. Le système, qui repose sur la blockchain publique Stellar, prévoit ainsi l'enregistrement local des données sans connexion au réseau pour mettre ensuite à jour

la blockchain lorsqu'une connectivité est récupérée.

La question du type de blockchain utilisé se pose également. Si les acteurs agro-industriels ont plutôt tendance à recourir à des blockchains privées, c'est parce qu'elles leur permettraient d'optimiser leurs processus internes et d'obtenir des informations au sein de leur propre chaîne d'approvisionnement. Or, ces informations détenues dans des registres distribués par ces acteurs pourraient ne pas être restreintes à une seule filière alimentaire.

L'émergence des technologies blockchains nécessite d'abord l'acculturation de ces acteurs qui expérimentent, à leur échelle, des blockchains privées ou de consortium. La forme de coopération que promeuvent les blockchains publiques, à savoir un mélange de concurrence et de coopération (partage de données sur un registre commun et ouvert à tous), doit faire son chemin pour, à terme, prouver l'intérêt d'utiliser des référentiels communs dont l'objectif sera d'assurer une

¹ « The global divide in data-driven farming », Natura Sustainability, November 2020, <https://www.nature.com/articles/s41893-020-00631-0>

meilleure transparence des chaînes globales d'approvisionnement (voir également Chapitre « Chaînes d'approvisionnement & logistique »). Il semble toutefois qu'un tel regroupement des acteurs mondiaux interagissant à travers un même registre public, ou plusieurs blockchains publiques qui interagissent entre elles, est encore loin.

Un autre enjeu concerne la tokenisation* d'actifs agricoles et soulève le problème du productivisme qui le sous-tend. Lier l'émission d'un crypto-actif à la quantité de céréales échangée suppose que des sommes plus importantes seront dirigées vers les exploitants les plus productifs, qui, bien souvent, adoptent des pratiques peu soutenables sur le plan environnemental. Le cas du soja en Argentine illustre parfaitement cette contradiction. En effet, la production de cette céréale, tokenisée ou non, est pour l'instant réalisée principalement pour l'export, à travers une importante consommation d'intrants chimiques. Par conséquent, faut-il prendre en compte d'autres données sur la qualité de la production dans la tokenisation ?

D'autres projets s'attachent à déterminer les attributs environnementaux exacts des produits agricoles afin d'apporter des sources de revenus

complémentaires aux agriculteurs, en les récompensant pour leur impact positif sur l'environnement. L'approche a un fort potentiel notamment en termes de régénération et de capture carbone dans les sols. Il reste néanmoins de nombreux obstacles à lever, avec, en premier lieu, ceux liés au suivi des pratiques agricoles, pour lesquelles des données de qualité sont peu disponibles. Et quand bien même ces données seraient collectées, leur traitement et leur vérification restent souvent très difficiles. S'il existe effectivement des nouvelles technologies comme les capteurs liés à l'Internet des objets (IoT) ou encore l'imagerie géo-spatiale, comment vérifier par satellite la quantité d'engrais azoté utilisée ou encore la consommation de diesel des machines, deux postes parmi les plus importants facteurs d'émissions. Le risque serait de voir émerger d'importantes quantités de crédit carbone tokenisés issus de projets agricoles pour lesquels les changements de pratiques et l'impact carbone effectif dans les sols n'est pas vérifiable.

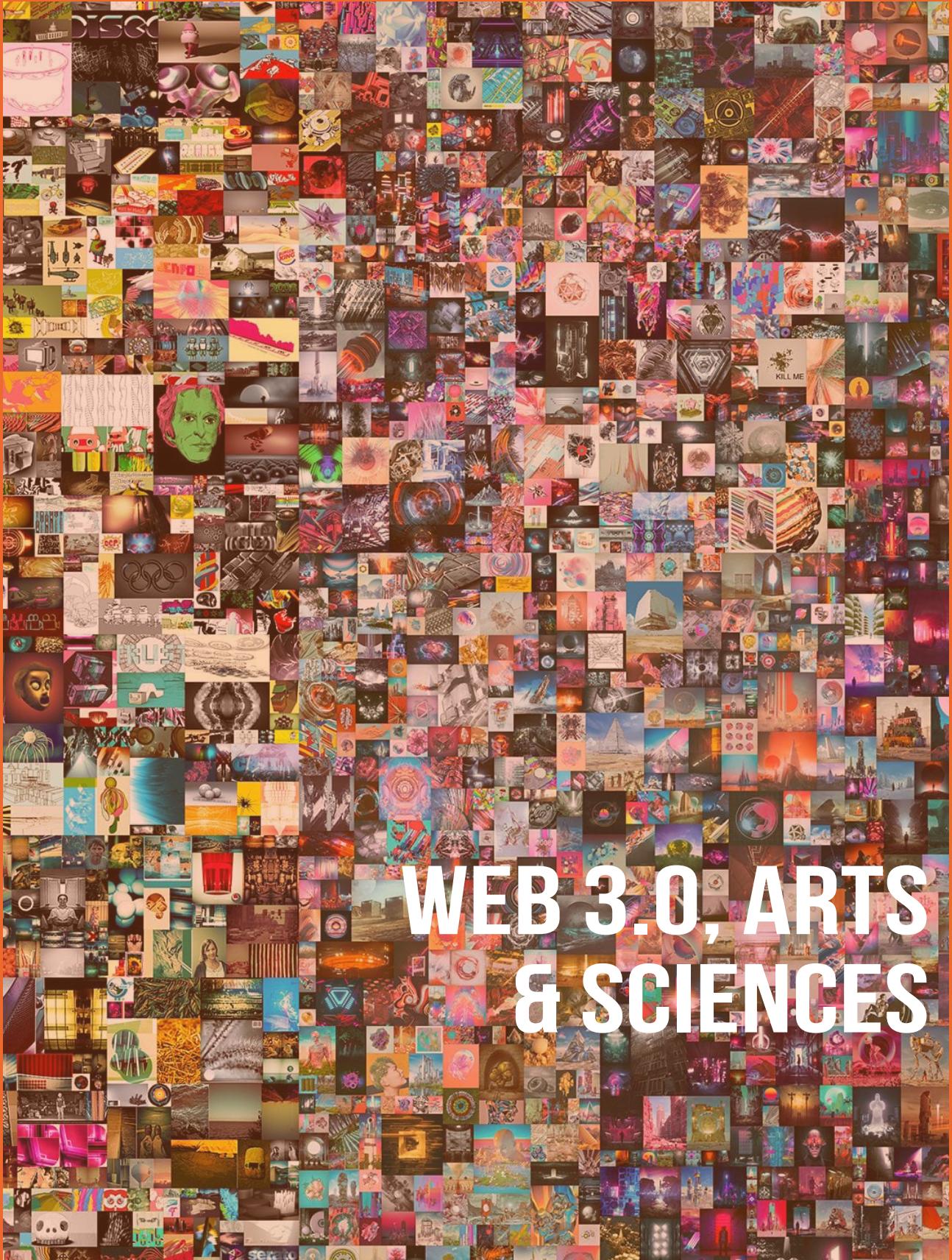
Le montant des bénéfices environnementaux, notamment la quantification carbone des sols, dépend grandement des méthodologies employées.



Et il en existe des dizaines, plus ou moins applicables, scientifiques ou reconnues. Il s'agit ici d'un problème de standards que l'on retrouve également sur les marchés carbone traditionnels et à propos desquels la qualité des certificats et de l'évaluation des données des projets est capitale.

Et dans le domaine agricole, les marges de progression sont encore importantes. C'est notamment dans ce cadre que des institutions, comme l'Union européenne mais aussi la FAO, lancent des initiatives de méthodologies et de certifications régionales ou globales, afin de pallier la fragmentation de certificats nationaux et locaux. Sans cela, il est difficile de créer des marchés intégrés et interopérables sur lesquels acheteurs et investisseurs utilisent une même grille de lecture et des unités de quantification communes. Même si de nombreux défis doivent encore être résolus,

ce foisonnement d'initiatives reposant sur des blockchains dans le domaine de l'agriculture, qu'elles émanent d'acteurs de taille mondiale ou de petites coopératives agricoles à l'échelle locale, laisse présager du potentiel de ces registres distribués pour construire une production et une distribution alimentaire plus transparente et plus durable. De plus, les pistes pour réduire les émissions de gaz à effet de serre au niveau agricole sont variées, comme notamment, la séquestration du carbone dans les sols (*« carbon farming »*), l'utilisation de la biomasse, les pratiques de l'agriculture régénérative, la promotion de la sylviculture pour l'exploitation rationnelle des arbres forestiers, l'utilisation de fertilisants plus naturels, la réduction des pesticides, effluents et autres produits chimiques ou la promotion de l'agriculture biologique (Voir Chapitre « Environnement et climat »).



WEB 3.0, ARTS & SCIENCES



WEB 3.0, ARTS & SCIENCES

Nombre de projets dans la base : 75

Nombre de projets actifs : 46

Nom des projets actifs : Akasha World ; Arweave ; Binded ; Bittunes ; Blockchain My Art ; BlockchainyourIP ; Brave (Basic Attention) ; Breaker ; Bridgit ; CyberFM Mainstream For The Underground ; Decent ; DTube ; eyeWitness to Atrocities ; Fiducia ; FilmChain ; Gab ; Golem ; Gridcoin ; HashingDNA ; Inflow Music ; Klapcoin ; Lucidity ; Lympo.io ; MAP ; Mediachain ; Minds ; Monegraph ; Opus ; Peertracks ; PubliQ ; Resonate ; Royal ; Sapien ; Sia (ou Skynet) ; Steem ; Storj ; The Safe Network ; Tokit (Breaker) ; Torum ; Truepic ; Unbiased ; URights ; Vevue ; Vezt ; VitaDAO ; ZeroNet ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à bonjour@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

Si le web permet d'échanger des informations et des contenus, les blockchains publiques permettent d'échanger de la valeur. Mais, qu'en est-il de l'impact des blockchains sur ces mêmes contenus, qu'ils soient artistiques, culturels, scientifiques ou encore produits par des journalistes ? Quel est l'impact du caractère décentralisé des blockchains publiques sur les applications développées au sein de ces nouveaux écosystèmes ?

Des initiatives blockchains viennent bousculer la structure actuelle du web, le stockage et le partage de données ou d'applications mais également la manière dont la valeur circule lorsqu'elle est attachée à des contenus numériques.

Avec en paragon, la vague des jetons non fongibles* (NFT) depuis 2021, consistant à enregistrer dans une blockchain publique un certificat d'authenticité. Ce caractère distribué propre aux blockchains publiques est aussi l'occasion d'interroger la manière dont l'information circule entre des infrastructures centralisées et décentralisées : hébergement et stockage distribués, salles de rédaction, journalisme et médias sociaux décentralisés, contenus numériques dont notamment la musique et les vidéos dont la propriété et les droits d'auteurs sont dorénavant programmables et enfin Sciences décentralisées (DeSci), ce mouvement qui augure une remise en question de la concentration opérée par une poignée d'intermédiaires dans le domaine des publications scientifiques.

Ces projets blockchains initient de nouveaux paradigmes de création, de financement, de monétisation et de circulation des contenus, qui tous, sont largement associés au Web dit 3.0. Tim Berners Lee en parlait dès 1994 en l'appelant Web sémantique, lorsqu'il imaginait un réseau distribué et sans autorité centrale, dont les contenus pourraient faire sens à la fois pour les gens et pour les machines¹.

Lire, écrire, détenir : du web statique au web décentralisé

Le web est l'un des services rendus possible par l'invention d'internet, un réseau de réseaux informatiques, mondial, accessible à tous et qui s'appuie sur un ensemble standardisé et ouvert de protocoles de transfert de données. Le World Wide Web, quant à lui, est un système hypertexte public fonctionnant sur le réseau Internet dont Tim Berners-Lee donne le coup d'envoi en août 1991.

Il est dorénavant courant de rendre compte de l'évolution du web en distinguant trois périodes correspondant chacune à une évolution de ses usages, les uns n'empêchant pas les autres. De manière schématique, le web 1.0 a permis aux gens de **lire** ; le web 2.0 permet aux gens de **lire** et d'**écrire** ; le web 3.0 permet aux gens de **lire**, **écrire** et **détenir**.

Le web 1.0, que le grand public découvre au milieu des années 1990, équivaut à

la publication de pages web sur des serveurs informatiques consultables à partir d'un navigateur web. Ce web est dit statique, car il reproduit la consommation des médias traditionnels de l'époque. Comme une personne lit un journal imprimé, un internaute lit, à l'écran, une page accessible via le web.

Le web 2.0, également appelé « web participatif », marque le moment où l'internaute, à partir des années 2000, n'est plus seulement le consommateur passif d'informations affichées sur un écran mais devient également le producteur de contenus, que ce soit sur des blogs, des wikis ou sur les premiers réseaux sociaux, au sein desquels il interagit, partage et échange des contenus de tout genre.

Cette période se caractérise tout à la fois par une large démocratisation des usages du web auprès du grand public et par la constitution des géants du numérique qui ont capitalisé sur l'augmentation exponentielle du nombre d'usagers attirés par la simplicité des services proposés. Avec ce biais que, lorsque le service est accessible gratuitement, le modèle de ces plateformes repose sur l'exploitation massive des données personnelles des utilisateurs du service, la plupart du temps de manière opaque.

Les services du web 2.0, en même temps que le grand public s'en empare, ont eu pour conséquence de centraliser les grandes applications du web entre

¹ « Plenary at WWW Geneva 94 », Tim Berners Lee, 1994, w3.org, <https://www.w3.org/Talks/WWW94Tim/>



	Web 1.0	Web 2.0	Web 3.0
Interaction	Lire	Lire - Ecrire	Lire – Ecrire - Détenir
Medium	Texte statique	Contenu interactif	Economie virtuelle
Organisation	Entreprises	Plateformes	Réseaux
Infrastructure	Ordinateur personnel	Cloud et mobile	Cloud Blockchain
Contrôle	Décentralisé	Centralisé	Décentralisé

L'évolution du World wide web - Traduction : Blockchain for Good

Source : « Blockchain Won't Save the World », Anthony Day, [<https://www.blockchainwontsavethe.world/about>](https://www.blockchainwontsavethe.world/about) & https://www.linkedin.com/posts/anthonyjjday_blockchain-technology-innovation-activity-6874640878640615424-g3nx/

les mains de quelques acteurs comme Google, Meta (Facebook, Instagram, WhatsApp), Amazon, Uber, Airbnb ou encore Blablacar. Ces géants du web ont un modèle d'affaires assimilable au capitalisme de surveillance dont la notion a été popularisée en 2014 par l'économiste américaine Shoshana Zuboff, professeure émérite à la Harvard Business School. Le capitalisme de surveillance décrit l'évolution du capitalisme industriel du 20^e siècle, emmené par le constructeur automobile Ford vers un capitalisme de données, optimisé par Google dans les années 2000. Il est fondé sur l'enregistrement systématique des données personnelles

des individus et de leurs interactions, la plupart du temps à leur insu. Ces données personnelles sont analysées à l'aide de puissants logiciels (*big data* et intelligence artificielle) afin de les vendre à des annonceurs en ligne.

Le web 3.0, ou web décentralisé, est une tentative de re-décentralisation du web², qui s'appuie largement sur les technologies de registre distribué et les blockchains publiques pour y parvenir. L'avènement d'un web décentralisé coïncide avec la volonté d'une multitude d'acteurs de se dégager du modèle d'affaires des géants du web.

² « What is Web3 ? Here Are Some Ways To Explain It To A Friend », James Beck, January 12, 2022, <https://consensys.net/blog/blockchain-explained/what-is-web3-here-are-some-ways-to-explain-it-to-a-friend/>

Toutefois, le web 3.0 n'est pas épargné par ses détracteurs, qui dénoncent, parfois à juste titre, la création de nouvelles plateformes centralisées qui opèrent de manière structurelle des services similaires à ceux du web 2.0³.

Alors, qu'apportent les blockchains dans les domaines de la création, du partage et de l'exploitation des contenus numériques, que ce soit dans les domaines de l'art, la culture, le journalisme, les médias sociaux ou encore des publications scientifiques ?

En quoi les blockchains impactent-elles la création, le partage et la manière dont ces contenus sont consommés, échangés et valorisés ? Comment les blockchains peuvent aider à bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation, comme le promeut l'Objectif de développement durable 9⁴ ? Aideront-elles à ce que « *les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables* », l'Objectif de développement durable 11⁵ ?

Comment promouvoir, comme le décrit l'Objectif de développement durable 16⁶, « l'avènement de sociétés pacifiques et inclusives, tout en assurant l'accès de

tous à la justice, et mettre en place, à tous les niveaux, des institutions efficaces et responsables ? Voici un tour d'horizon des initiatives blockchain en la matière.

3 « Le "Web3" expliqué en quatre questions », Olivier Clairouin, 20 avril 2022, https://www.lemonde.fr/pixels/article/2022/04/20/le-web3-explique-en-quatre-questions_6122944_4408996.html

4 Objectif de développement durable 9 : Mettre en place une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation <https://sdgs.un.org/fr/goals/goal9>

5 Objectif de développement durable 11 : Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables. <https://sdgs.un.org/fr/goals/goal11>

6 Objectif de développement durable 16 : Promouvoir l'avènement de sociétés pacifiques et ouvertes aux fins du développement durable. <https://sdgs.un.org/fr/goals/goal16>



Contenus / données / index décentralisés

Depuis plus d'une décennie, le développement d'une offre d'hébergement ou de *Cloud Computing* à destination des entreprises qui souhaitent externaliser la gestion des données qu'ils émettent et reçoivent représente aujourd'hui un marché de plusieurs milliards de dollars, contrôlé par une poignée d'acteurs parmi lesquels Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud ou encore Alibaba. Cette offre de *Cloud computing*, décomposable en IaaS (*Infrastructure-as-a-Service*), PaaS (*Platform-as-a-Service*) et SaaS (*Software-as-a-Service*) selon l'étendue des données et services hébergés à distance, consiste, pour l'opérateur de *Cloud*, à assurer l'hébergement de contenus, de données et d'application dans des centres de serveurs maintenues par leurs soins.

L'InterPlanetary File System (ou IPFS, système de fichier inter-planétaire) est un système distribué de fichiers pair-à-pair dont l'objectif est de stocker des informations, comme des fichiers, des sites web, des applications ou encore données, de manière totalement décentralisée, sécurisée et confidentielle, permettant ainsi de se prémunir contre toute forme de censure. [l'IPFS n'est pas une blockchain](#) mais un système

de stockage de données parfaitement adapté aux applications blockchains qui nécessitent d'accéder à des contenus, ce qui fait dire à certains qu'IPFS est un « *disque dur pour les blockchains*⁷ ».

Plus précisément, IPFS cherche à créer un web persistant⁸ et distribué qui ne s'appuie plus sur la localisation d'un contenu mais sur le contenu en lui-même. Aujourd'hui, une recherche d'information sur le web consiste à demander à un moteur de recherche « où se trouve le contenu » afin d'identifier l'URL de la machine où la donnée ou encore la page est hébergée ; une recherche dans l'IPFS consiste à demander au système « le contenu que l'on recherche », identifié par un *hash* cryptographique* unique et permanent. « *De cette façon, le système tire parti de la proximité physique. Si une personne très proche de moi possède ce que je veux, je l'obtiendrai directement auprès d'elle au lieu de me connecter à un serveur central*⁹ » explique l'ingénieur Karan Kwattra.

Créé en 2014 par Juan Benet, IPFS est un protocole *open source* qui pourrait largement se développer à côté du protocole Hypertext Transfer Protocol (HTTP), inventé par Tim Berners-Lee en 1991.

7 « What is IPFS ? The hard drive for Blockchain », iCommunity, retrieved May 23, 2022, <https://icomunity.io/en/what-is-ipfs-the-hard-drive-for-blockchain/>

8 « Persistence, permanence, and pinning », IPFS doc, retrieved July 21, 2022, <https://docs.ipfs.io/concepts/persistence/#persistence-versus-permanence>

9 « What is IPFS ? », Karan Kwattra, Mar 15 2018, retrieved May 23, 2022, <https://medium.com/wolverineblockchain/what-is-ipfs-b83277597da5>

IPFS est déjà largement utilisé¹⁰, que ce soit par des initiatives blockchain ou non, dans des secteurs et services aussi divers que les réseaux sociaux, les navigateurs web, les réseaux de diffusion de contenu (*Content Delivery Network* - CDN), NFT*, les systèmes d'identité, l'internet des objets, la finance décentralisée, les places de marchés ou encore dans le domaine des données et de l'apprentissage machine.

Par exemple **Filecoin**, développé par Protocol Labs à l'origine d'IPFS est un service de cloud décentralisé. IPFS peut être utilisé par des sites web sans rapport avec les blockchains, comme Wikipedia, qui a développé un miroir de leur site web afin de donner accès à l'encyclopédie en ligne dans les pays où il est censuré. Ou encore **Audius**, un système décentralisé de streaming musical dont le contenu est hébergé sur IPFS.

Hébergement décentralisé de dApps* et de nœuds blockchain

La plupart des nœuds des blockchains publiques présentent aujourd'hui un certain degré de centralisation architecturale ou /et politique (voir Introduction - Qu'est-ce qu'une blockchain ?).

La centralisation architecturale revient à se poser la question de savoir de combien d'ordinateurs physiques est constitué le système. La centralisation politique consiste, quant à elle, à se demander combien d'individus ou d'organisations ont l'ultime contrôle des ordinateurs qui composent le système¹¹.

Or bon nombre de blockchains publiques hébergent certains nœuds de leur réseau sur des serveurs privés virtuels (*Virtual Private Server* - VPS), ce qui revient à centraliser à nouveau leur système puisque les ordinateurs physiques se retrouvent chez Amazon Web Service ou d'autres services de *Cloud* centralisés.

Pour remédier à cette contradiction, des *startups* proposent aux blockchains publiques une solution d'hébergement distribuée de leurs applications comme **Substratum**, **The Safe Network**¹² (voir Chapitre « Communications électroniques et télécommunications ») ou encore **DAppNode**, qui offre un service de déploiement et d'hébergement

10 « Ecosystem directory », IPFS, retrieved June 3, 2022, <https://ecosystem.ipfs.io/?results=70>

11 « The meaning of Decentralization », Vitalik Buterin, Medium, February 6, 2017, <https://medium.com/@VitalikButerin/the-meaning-of-decentralization-a0c92b76a274>

12 « How Does it work ? », The Safe Network, retrieved June 3, 2022, <https://safenetwork.tech/>



d'applications décentralisées (DApps*), d'applications pair-à-pair ou encore de nœuds blockchain.

DAppNode¹³ est une plateforme gratuite et *open source* pour « *déployer et héberger des DApps*, des clients P2P et des nœuds blockchain* ». Pour l'utilisateur, DAppNode prend la forme d'une plateforme qui lui permet de déployer des applications décentralisées et des nœuds de blockchain sur leur propre machine et d'y accéder directement via un protocole décentralisé sans utiliser de passerelles ou de tiers centralisés.

DAppNode dispose d'un DAppStore où les applications disponibles peuvent être téléchargées et installées en quelques clics. DAppNode permet enfin à leurs utilisateurs de gagner des tokens en participant à la maintenance, à la validation ou au partage des ressources de certains réseaux décentralisés.

Cloud décentralisé

Le marché traditionnel des services *Cloud* est entièrement dominé par quelques géants américains et chinois, appelés hyperscalers. Fin 2019, une dizaine d'acteurs se partageaient 77 % du marché mondial. En 2020, Amazon Web Services (AWS) détenait 31 % du marché

des infrastructures de *Cloud*, suivi par Microsoft Azure (20 %), Google Cloud 6 %, Alibaba 5 %¹⁴. En Europe, au premier semestre 2020, 68 % des dépenses d'infrastructures *Cloud* des entreprises européennes sont captées par Amazon Web Services (53 %), Microsoft Azure (9 %) et Google (6 %) alors que le Français OVHcloud, leader européen du cloud privé, n'en détient que 4 %¹⁵. Face à cette offre d'infrastructures centralisées d'hébergement se développe une offre de *Cloud* dit décentralisé, portée par plusieurs acteurs comme **Skynet (Sia)**, **Storj** ou encore **Arweave**, même si leur portée reste à ce jour encore limitée.

Si l'on compare le stockage des centres de données centralisés et le stockage décentralisé de données, le premier s'appuie sur des infrastructures construites *ex nihilo* pour opérer le service alors que le *Cloud* décentralisé s'appuie sur des capacités de stockage et de bande passante déjà existantes et fournies à la périphérie du réseau par les particuliers ou entreprises qui opèrent le service.

L'investissement matériel nécessaire à la construction de centre de données disparaît lorsque le service d'hébergement décentralisé s'appuie sur les ressources déjà existantes sur le réseau, dont les capacités sont de

13 « What is DAppNode ? », DAppNode, retrieved June 3, 2022, <https://docs.dappnode.io/get-started/intro>

14 « Global cloud services spend exceeds US\$50 billion in Q4 2021 », Canalys, February 3, 2022, <https://www.canalys.com/newsroom/global-cloud-services-Q4-2021>

15 « Le Cloud européen : de grands enjeux pour l'Europe et cinq scénarios avec des impacts majeurs d'ici 2027-2030 », Jacques-André Fines Schlumberger, *La Revue Européenne des Médias et du Numérique - N°57-58 Printemps - été 2021*, <https://la-rem.eu/2021/10/le-cloud-europeen-de-grands-enjeux-pour-europe-et-cinq-scenarios-avec-des-impacts-majeurs-dici-2027-2030/>

facto nettement supérieures. Si les entreprises ont entamé depuis plusieurs années la migration de leurs données vers des tiers spécialisés, le coût afférant à l'hébergement de ces données augmentent considérablement au fur et à mesure qu'elles s'accumulent.

Or « *la capacité inutilisée des capacités de stockage des particuliers est aujourd'hui tellement excédentaire que les coûts peuvent rester bas et n'ont pas besoin d'augmenter en fonction de la croissance des données¹⁶* ». Plusieurs initiatives blockchain tirent partie des ces nouvelles architectures d'hébergement de données.

Skynet est construit au-dessus d'une blockchain publique appelée **Sia**, lancée en 2015. C'est un protocole ouvert pour l'hébergement de données et d'applications décentralisées. Les fondateurs du projet décrivent leur service comme un « *Airbnb pour le stockage de données¹⁷* ». Des personnes qui ont besoin d'un espace de stockage (appelés Loueurs/Renters) paient, à l'aide d'un token* appelé **Siacoin**, pour stocker leurs données sur les disques durs de personnes qui disposent d'un espace de stockage inutilisé (appelés Hôtes/Hosts). Le service opéré par Sia consiste à chiffrer les données, les découper en paquets, et les distribuer sur tous les ordinateurs qui participent au système.

Comme il n'y a pas d'autorité centrale, les contenus ne peuvent pas être censurés. Tout comme **Storj DCS**, pour Decentralized Cloud Storage, dont un premier livre blanc, paru en décembre 2014 a été mis à jour en 2016 et dont la plateforme a été lancée fin 2018¹⁸. Des personnes disposant d'espace de stockage inutilisé peuvent ainsi participer au réseau de *Cloud* décentralisé en devenant un nœud du réseau et seront payés en tokens Storj pour le service rendu. Pour citer un dernier projet, **Arweave** est un réseau de stockage décentralisé « *qui vise à proposer une plateforme pour le stockage de données permanent* » et se décrit comme « *un disque dur collectif qui n'oublie jamais¹⁹* ». Présenté sous le nom de Archain en août 2017, renommé en Arweave en février 2018, le service est lancé en juin de la même année et héberge un certain nombre d'applications décentralisées et de plateformes communautaires.

Streaming vidéo décentralisé

Live Peer, créé à New York en 2017 et construit sur la blockchain publique Ethereum, est une plateforme décentralisée de diffusion de vidéo en direct. L'un des postes de dépense parmi les plus importants pour une plateforme de vidéo en *streaming* est le coût du transcodage des vidéos.

16 « Comparing the Economics of Centralized and Decentralized Cloud Storage », Christine Ackley, Storj, July 15, 2021, <https://www.storj.io/blog/comparing-the-economics-of-centralized-and-decentralized-cloud-storage>

17 « Skynet Overview », Siasky, retrieved May 30, 2022, <https://support.siasky.net/>

18 « Getting Starting on DCS », Storj, retrieved May 30, 2022, <https://docs.storj.io/>

19 « Arweave », Arweave.org, retrieved May 30, 2022, <https://www.arweave.org/>



Le transcodage d'une vidéo est le processus qui consiste à optimiser le fichier brut d'une vidéo pour le reformater selon différentes tailles afin d'en optimiser la lecture quelle que soit la bande passante et l'appareil de celui qui la visionne. Selon LivePeer, « *ce processus coûte environ 3 dollars par flux et par heure à un service Cloud comme celui d'Amazon, jusqu'à 4 500 dollars par mois pour un serveur de médias, et jusqu'à 1 500 dollars par mois pour un réseau de diffusion de contenu²⁰* » (Content Delivery Network - CDN).

La promesse de LivePeer réside en un protocole destiné aux développeurs informatique, permettant de proposer un service de vidéo en direct ou à la demande avec une réduction du coût par cinquante²¹.

Lorsqu'une personne enregistre ou filme en direct, à partir d'une application ayant intégré le service de Livepeer, le flux vidéo est envoyé sur le réseau pair-à-pair et transcodé par certains des nœuds du réseau appelés « orchestrateurs ». Les orchestrateurs exécutent un logiciel qui met à disposition les ressources de leur ordinateur (CPU, GPU et bande passante) afin de transcoder et distribuer la vidéo sur le réseau Livepeer. Pour cette activité, ils sont rémunérés en Ether ou en crypto-actif stable* comme le DAI.

Pour opérer sur le réseau, les orchestrateurs acquièrent auparavant un token appelé Livepeer token (LPT). Plus un orchestrateur dispose de token LPT, plus il est en mesure d'effectuer de travail de transcodage sur le réseau et être rémunéré. Un seconde type d'utilisateur, appelé « délégué », sont des détenteurs de tokens LPT qui participent à la sécurité du réseau en plaçant leurs tokens auprès des orchestrateurs de leurs choix.

Ainsi, lorsqu'un média utilise le service de *streaming* vidéo de Livepeer, il paye au réseau des frais, bien moins élevés que sur une plateforme centralisée, qui seront reversés aux orchestrateurs et aux délégués. Le protocole Livepeer crée également de nouveaux tokens LPT et les répartit entre les orchestrateurs et les délégués en fonction de leur participation par rapport aux autres membres du réseau, ce qui permet « *d'accroître la propriété du réseau auprès de ceux qui participent et de la réduire parmi ceux qui ne participent pas*²² ».

Ces nouveaux tokens sont créés selon un taux d'inflation qui s'ajuste automatiquement en fonction du nombre de tokens mis en jeu par rapport à l'offre totale en circulation, afin notamment de « *trouver un compromis sain entre la sécurité du réseau et la liquidité des tokens*²³ ». Selon Livepeer, 4 250 délégués sécurisent à ce jour le réseau.

20 « Livepeer », Livepeer, retrieved May 30, 2022, <https://livepeer.org/primer>

21 *Ibid.*

22 *Ibid.*

23 *Ibid.*

Si tous ces services proposent de repenser la manière dont les contenus, les données et les applications sont hébergés, une entreprise américaine, **Mediachain**, créée en 2016 et rachetée par Spotify en 2017, construit un index décentralisé de données (voir *infra*). Un index est la structure de données utilisée par un système de gestion de base de données pour retrouver rapidement les données en son sein.

Média et journalisme

Les médias d'information et le journalisme, notamment depuis l'avènement des réseaux sociaux, s'adaptent à la perte de leur monopole sur la parole publique depuis les années 2010 et l'avènement du web participatif.

Les défis auxquels les médias d'information sont confrontés sont nombreux : la lutte contre les fausses informations et la crise de confiance dont certains font l'objet, la monétisation de leurs contenus, les difficiles rapports avec les géants du web (puissants vecteurs d'audience, que ce soit de la part de Google pour la recherche d'information, mais aussi de la part des réseaux sociaux, notamment de Meta ex Facebook), la pression publicitaire portée notamment par la publicité programmatique, dont le modèle repose sur un profilage toujours plus poussé de leur audience.

Il y a sept ans, plusieurs projets blockchain portés par des journalistes, et abandonnés depuis, ont ainsi vu le jour, parmi lesquels **Civil.co**, créé en 2016 et dont l'activité a cessé en 2020, ou encore **Po.et**, créé la même année et arrêté en 2019. Le projet Civil.co était de créer un token offrant la possibilité aux journalistes d'être rémunérés directement par leurs lecteurs, sans passer par un média. Selon son président à l'époque, Matthew Iles, l'idée était de « tirer parti des blockchains et de la crypto-économie et créer une plateforme de presse libre et indépendante n'impliquant que des journalistes et des citoyens, sans aucune publicité ni aucun tiers dans le modèle économique²⁴ ».

Le projet *open source* Po.et, quant à lui, se présentait comme « *un protocole décentralisé pour la propriété du contenu, leur découverte et leur monétisation dans les médias* ». Po.et s'adressait aux créateurs de contenus (journalistes, médias, YouTubers, podcasters, blogueurs, artistes...) pour certifier et protéger leurs œuvres, en les horodatant dans la blockchain Bitcoin et en y associant des métadonnées (nom de l'auteur ou du premier éditeur), ainsi que les licences d'exploitation. Ces informations étaient stockées via le logiciel libre InterPlanetary File System (IPFS) (voir *supra*). Il devient alors possible de tracer l'utilisation d'un contenu et de vérifier si le droit d'auteur a été respecté.

24 « Quelles synergies entre les blockchains et les industries culturelles ? », Jacques-André Fines Schlumberger, *La Revue Européenne des Médias et du Numérique* - N°49 Hiver 2018-2019, <https://la-rem.eu/2019/03/quelles-synergies-entre-les-blockchains-et-les-industries-culturelles/>



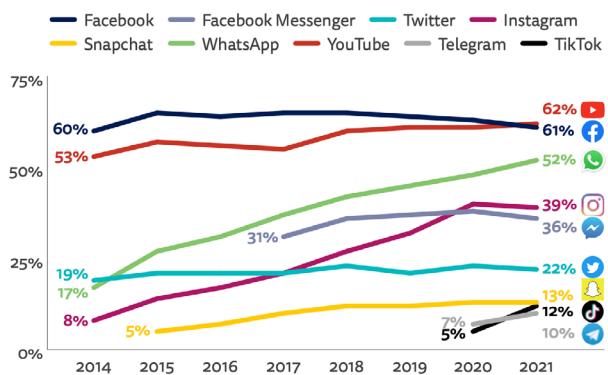
Dans le domaine cette fois, de la lutte contre les fausses informations, une entreprise française, **Block Expert**, tout comme **MadNetwork** créé à New York en 2017, avaient lancé un label, nommé **Safe.press** pour le premier et **Full Transparency** pour le second. Ils permettaient de certifier les communiqués de presse des entreprises, dont le détournement de la communication peut causer d'importants préjudices.

Pour ne citer qu'un seul exemple, le 22 novembre 2016, un communiqué du groupe Vinci annonçait une révision des comptes financiers, ainsi que le renvoi de son directeur financier, faisant rapidement plonger le cours de l'action de 19 %, soit l'équivalent de 6 milliards d'euros. Or le communiqué était faux. Le label Safe.press construit sur une blockchain privée en 2019, développée sur Hyperledger, a cessé ses activités début 2020, tout comme **MadNetwork**.

Force est de constater que le caractère décentralisé des blockchains n'a pas trouvé d'écho au sein des médias d'information traditionnels. Quelques innovations ont cependant émergé dans le domaine des réseaux sociaux et des micro-paiements.

Réseaux & Médias sociaux

PROPORTION THAT USED EACH SOCIAL NETWORK FOR ANY PURPOSE IN THE LAST WEEK (2014-21) – AVERAGE OF 12 MARKETS



Q12a. Which, if any, of the following have you used in the last week for any purpose? Base: Total 2014-21 sample in selected markets (most n = 2000). Note: From 2015-21 the 12 countries included are UK, USA, Germany, France, Spain, Italy, Ireland, Denmark, Finland, Japan, Australia and Brazil. In 2014, we did not poll in Australia or Ireland.

Source : *Reuters Institute Digital News Report 2021 10th Edition* Nic Newman with Richard Fletcher, Anne Schulz, Simge Andı, Craig T. Robertson, and Rasmus Kleis Nielsen https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/sites/default/files/2021-06/Digital_News_Report_2021_FINAL.pdf

En janvier 2022, 4,62 milliards de personnes dans le monde utilisent un ou plusieurs réseaux sociaux²⁵, soit 58,4 % de la population mondiale. Les réseaux sociaux les plus populaires sont détenus par Meta (Facebook), Google, Twitter et Snap Inc. Leur formidable audience et leur succès commercial coïncident avec toute une série de critiques portant notamment sur la manipulation des contenus, les fausses informations, le détournement de publicités à des fins politiques, la censure, opérée directement par le réseau social, ou par un pays qui décide de suspendre ou d'en couper définitivement l'accès à

25 « Digital 2022: une nouvelle année de croissance exceptionnelle », We Are Social, retrieved June 3, 2022, <https://wearesocial.com/fr/blog/2022/01/digital-2022-une-nouvelle-annee-de-croissance-exceptionnelle/>

ses ressortissants, le modèle d'affaire, et des critiques basées sur la captation et l'analyse de données personnelles à l'insu de leurs utilisateurs.

Des projets blockchains s'attèlent à proposer de nouveaux modèles adressant quelques-unes de ces problématiques, notamment en créant un réseau social décentralisé, comme **Steem**, **Hive** ou **Dtube**, mais également des solutions de micropaiement comme **Kin**.

Dans son livre blanc publié en août 2017²⁶, Steem se présente comme « *une plateforme incitative de contenu public basée sur une blockchain* ». Steem est une blockchain publique au-dessus de laquelle sont construites des applications décentralisées (dApps*) dont la première, **Steemit**, souvent comparée au réseau social Reddit.com, a été lancée le 4 juillet 2016. Steemit se présente « *comme la première base de données accessible au public pour du contenu stocké de manière immuable sous forme de texte brut, avec un mécanisme d'incitation intégré*²⁷ ». La blockchain est publique et *open source*²⁸. Le mécanisme de consensus mis en oeuvre est la preuve d'enjeu déléguée (Delegated Proof of Stake - DPoS*).

Steemit rémunère à la fois les créateurs de contenu sur la plateforme, ainsi que les personnes qui votent et aiment

les contenus afin d'identifier ceux de qualité à travers un système combinant une « réserve de récompense » (*pool rewarding*) couplé à un « système de vote »²⁹.

Les tokens de STEEM sont générés à un rythme fixe d'un bloc toutes les trois secondes. Plus précisément, la blockchain Steem génère des tokens STEEM à un taux fixé à 9,5 % par an depuis décembre 2016, avec un taux d'inflation qui diminue de 0,5 % par an avant de cesser lorsqu'il atteindra 0,95 % dans 20,5 ans. L'ensemble des tokens STEEM générés sont alloués ainsi : 75 % sont envoyés dans la réserve de récompense, et sont distribués aux créateurs de contenus et à ceux qui votent pour ces contenus. 15 % des tokens sont distribués à ceux qui possèdent déjà un certain type de token, appelé Steem Power (voir *infra*), et les 10 % restants sont distribués à des nœuds sur la blockchain Steem, appelés délégués, élus pour valider les blocs de transaction sur la blockchain.

Steemit s'appuie sur trois tokens gérés via la blockchain publique Steem : le Smart Media Token (SMT) appelé (1) STEEM, le token natif de la blockchain du même nom, le (2) Steem Power (SP), une version verrouillée de STEEM qui donne au compte une influence sur la plateforme et le (3) Steem Backed Dollar (SBD) dont la valeur correspond à

26 « Steem White Paper », Steem, August 2017, <https://steem.com/SteemWhitePaper.pdf>

27 « Steem Developer Portal », Steem, retrieved June 3, 2022, <https://developers.steem.io>

28 « Steem/Steemit », Github, retrieved June 3, 2022, <https://github.com/steemit/steem>

29 « A protocol for enabling smart, social currency for publishers and content businesses across the internet », Steem, Bluepaper, retrieved May 31, 2022, <https://steem.com/steem-bluepaper.pdf>



un dollar en STEEM. Lorsqu'un rédacteur reçoit une récompense pour le contenu qu'il a publié, ou un curateur pour le vote qu'il a effectué, la moitié de la récompense est versée sous la forme de Steem Power (SP), et l'autre moitié sous la forme de Steem Backed Dollar (SBD), avec la possibilité de convertir mutuellement les tokens entre eux ou en STEEM.

Mais lorsqu'un utilisateur vote sur un contenu, son influence sur la distribution du pool de récompenses est directement proportionnelle à la quantité de Steem Power (SP) qu'il détient. Pour avoir une influence sur le réseau, les utilisateurs les plus actifs qui conservent leur Steem Power, sont ainsi récompensés.

L'innovation apportée par Steemit est d'avoir créé un réseau social qui permet aux éditeurs de contenus de ne pas reposer sur un modèle publicitaire, de prendre en charge nativement des micro transactions dont le règlement est quasi instantané et les frais de transaction quasi nuls, et d'opérer un cercle vertueux entre ceux qui publient et ceux qui votent, les deux étant récompensés pour leurs activités.

En mars 2020, Steemit a été racheté par la fondation Tron, dirigée par Justin Sun, ce qui a provoqué le mécontentement d'une partie de la communauté Steem

et s'est soldé par un *hard fork** de la blockchain, donnant naissance à **Hive**. Selon leurs concepteurs, **Hive** est « *une blockchain avec une gouvernance de type DPOS [Delegated Proof of Stake], construite à partir d'une copie du code source de Steem et qui fonctionne de manière totalement indépendante de la chaîne existante*³⁰ ».

Que ce soit sur les blockchains publiques comme STEEM ou Hive, des porteurs de projets peuvent construire des applications décentralisées (dApps*), parmi lesquelles **D.tube**, une plateforme décentralisée de vidéo ou encore **Peakd**³¹ ou **Ecency**³², des réseaux sociaux décentralisés.

La plateforme **DTube** propose ainsi un réseau de partage de vidéos où certains utilisateurs postent des vidéos alors que d'autres déterminent l'intérêt des contenus. Non seulement les utilisateurs peuvent donner des « pourboires » aux créateurs de contenu, mais aussi leurs « j'aime » et leurs commentaires, qui seront rémunérés par la plateforme, comme sur Steemit.

La plateforme autonome, est contrôlée par dix personnes ou leaders³³, choisis par la communauté, et qui seront en charge de produire les nouveaux blocs de transactions. La plateforme se décrit comme étant résistante à la censure, affranchie du modèle de la publicité,

30 « Announcing the Launch of Hive Blockchain », hiveio, March 17, 2020, retrieved May 31 2022, <https://peakd.com/communityfork/@hiveio/announcing-the-launch-of-hive-blockchain>

31 « Decentralized Social Media with True ownership », Peakd, retrieved July 21, 2022, <https://peakd.com/>

32 « Welcome to Ecency », Ecency, retrieved July 21, 2022, <https://ecency.com/>

33 Ce chiffre peut varier dans le futur.

et affirme de ne pas collecter des données utilisateurs tout en distribuant 90 % de la valeur créée³⁴.

Ces plateformes décentralisées de contenus, s'appuyant sur des blockchains publiques pensées pour favoriser des micro-transactions autour de contenus gérés par une communauté d'utilisateurs, restructurent les dynamiques à l'œuvre entre ses utilisateurs et proposent de nouveaux paradigmes de compensation et de récompense quant à la participation de chacun³⁵.

L'un des points fondamentaux de ces applications est leur capacité à monétiser les interactions de leurs utilisateurs, non pas à leur insu comme c'est le cas avec les réseaux sociaux classiques, mais à l'aide de tokens, échangés directement par les utilisateurs au sein de communautés.

Arts, Musique & Vidéo

L'Objectif de développement durable 11, « faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables » a pour ambition, à travers sa cible 4 le « renforcement des efforts de protection et de préservation du patrimoine culturel et naturel mondial³⁶ ».

Les industries de l'art, de la musique, des films et de la culture en général ont profondément été impactées par le développement du web.

Après les promesses d'une désintermédiation entre les artistes et leur public dans les années 2000, force est de constater qu'aujourd'hui, la valeur est toujours plus captée par des intermédiaires de plus en plus puissants. Pour ne citer qu'un exemple, si l'industrie musicale génère 43 milliards de revenus annuels par an, seuls 12 % reviennent aux artistes³⁷.

L'une des raisons de ce déséquilibre provient du nombre d'intermédiaires entre les artistes et leur audience, ainsi que de la manière dont la valeur circule entre eux.

34 « A new model: the social blockchain », D-Tube, retrieved July 21, 2022, <https://token.d.tube/>

35 « How The Blockchain Can Solve Social Media's Biggest Problems » Sunny Dhillon, Forbes, February 28, 2018, <https://www.forbes.com/sites/valleyvoices/2018/02/28/how-the-blockchain-can-solve-social-medias-biggest-problems>

36 Objectif de développement durable 11, Nations Unies : Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/cities/>

37 « Introducing \$AUDIO, The Audius Platform Token », October 8, 2020, <https://medium.com/audius/introducing-audio-the-audius-platform-token-2c575215b439>, retrieved June 1, 2022.



Un certain nombre d'initiatives blockchain souhaitent bousculer ce paysage hyper centralisé en redonnant au créateur d'œuvres de l'esprit, l'opportunité de nouvelles sources de financement, une meilleure maîtrise des droits par l'artiste lui-même, la gestion et la programmabilité des droits associés et des micro transactions favorisant également l'accélération des délais de paiement.

Ces initiatives blockchain reposent tout à la fois sur le développement des NFT*, poussés par l'engouement qu'ils suscitent depuis le début de l'année 2021, mais également sur la création de nouveaux écosystèmes reliant directement artistes et audience à travers le token de plateformes décentralisées.

Comme nous l'avons vu au chapitre « Aide, Charité et Philanthropie », les tokens non fongibles (*Non Fungible Token - NFT**), associés au domaine de l'art et des contenus numériques, inaugurent de nouvelles formes de financement de projets à dimensions sociale et/ou environnementale, qu'ils soient portés par des organisations déjà existantes ou bien par des communautés de personnes réunies autour d'une cause.

Comment fonctionne un token non fongible* (*Non fungible token - NFT*) ?³⁸

Si bitcoin et la majorité des crypto-actifs émis grâce à une blockchain publique sont fongibles, c'est-à-dire que n'importe lequel de ces tokens peut être échangé contre un autre, les tokens non fongibles désignent quant à eux un actif numérique unique. Ils sont émis sur une blockchain publique comme Ethereum, Tezos ou encore Cosmos, à l'aide d'un *smart contract** et reposent par conséquent sur les qualités intrinsèques des blockchains publiques.

Cependant, outre leur caractère infalsifiable, traçable, interopérable et échangeable, un token non fongible est unique et indivisible. Cette unicité permet de certifier l'authenticité et la propriété d'objets originaux, parmi lesquels des œuvres d'art, des objets de collection, physiques ou numériques, ou encore des noms de domaines, des créances et même des biens immobiliers.

Pour exister, à l'instar d'une monnaie nationale frappée par un État, un NFT est d'abord « frappé » dans une blockchain publique, en anglais *minted*, puis par la suite éventuellement « brûlé », en anglais *burnt*, c'est-à-dire supprimé. *Minting an NFT*, « frapper un NFT », consiste, à partir d'un portefeuille* (*wallet*) et d'un *smart contract**, à enregistrer le token et ses données d'identification dans une

³⁸ « NFT », Jacques-André Fines Schlumberger, *La revue européenne des médias et du numérique*, N°57-58 Printemps - été 2021, <https://la-rem.eu/2021/07/nft/>

blockchain publique afin qu'il devienne immuable, échangeable mais aussi consultable et vérifiable par quiconque.

Plusieurs blockchains publiques comme **Binance Smart Chain**, **Polygon**, **EOS**, **Flow**, **Polkadot**, **Tezos**, **Tron** ou encore **WAX** sont utilisées pour y frapper un NFT, la plus populaire étant la blockchain **Ethereum**.

Sur celle-ci, un NFT a fait l'objet d'un *smart contract** qui applique les spécifications ERC-721 ou ERC-1155. Chaque token non fongible est assorti d'un identifiant dans le *smart contract**. L'association « adresse du contrat » et « identifiant » devient alors un identifiant unique au monde, un *hash**. Seul le *hash**, et non l'œuvre, est stocké dans la blockchain Ethereum et sert à prouver la propriété du contenu aux yeux de tous. L'acquisition d'un NFT n'empêche pas l'œuvre numérique, l'image, l'animation, la carte à collectionner ou la vidéo d'être vue et partagée par d'autres. La norme prévoit également une fonction de transfert entre portefeuilles, afin de permettre les transactions de NFT tout en faisant apparaître l'ensemble des propriétaires au fur et à mesure des échanges.

En outre, des métadonnées associées au NFT fournissent des informations descriptives. Lorsqu'un NFT correspond à un billet de concert, les métadonnées pourront désigner par exemple la date de l'évènement et le type de billet, en plus du nom du concert, de ses coordonnés et de son programme.

L'œuvre en elle-même, dès lors qu'elle est numérique, est accessible sur le web, ce qui induit un risque de disparition du contenu. Elle peut également être hébergée via des systèmes de stockage décentralisés, tel que IPFS (voir *supra*) pour en garantir un accès pérenne.

Tout d'abord, les blockchains peuvent être utilisées comme des registres distribués permettant d'enregistrer la paternité d'une œuvre et tout fichier numérique se prête naturellement à l'enregistrement de son empreinte dans une blockchain publique. De nombreuses entreprises proposent ce type de service depuis plusieurs années comme **Binded** aux Etats-Unis depuis 2016, **BlockchainyourIP** en France depuis 2017 ou encore **HashingDNA** en Espagne depuis 2018. Le procédé consiste à créer un certificat comprenant une empreinte numérique du document, sous la forme d'un *hash** (fonction mathématique qui transforme n'importe quel contenu sous la forme d'un nombre hexadécimal et qui, à la moindre modification du contenu, donnera un nombre totalement différent), la date de son enregistrement dans la blockchain utilisée ainsi que le numéro de la transaction et celui du bloc où l'empreinte numérique du document a été enregistrée.

Au-delà de la preuve de paternité d'une œuvre, les blockchains, et tout particulièrement les *smart contracts** permettent d'imaginer de nouveaux systèmes de gestion des droits d'auteur, régulièrement dénoncés par les artistes

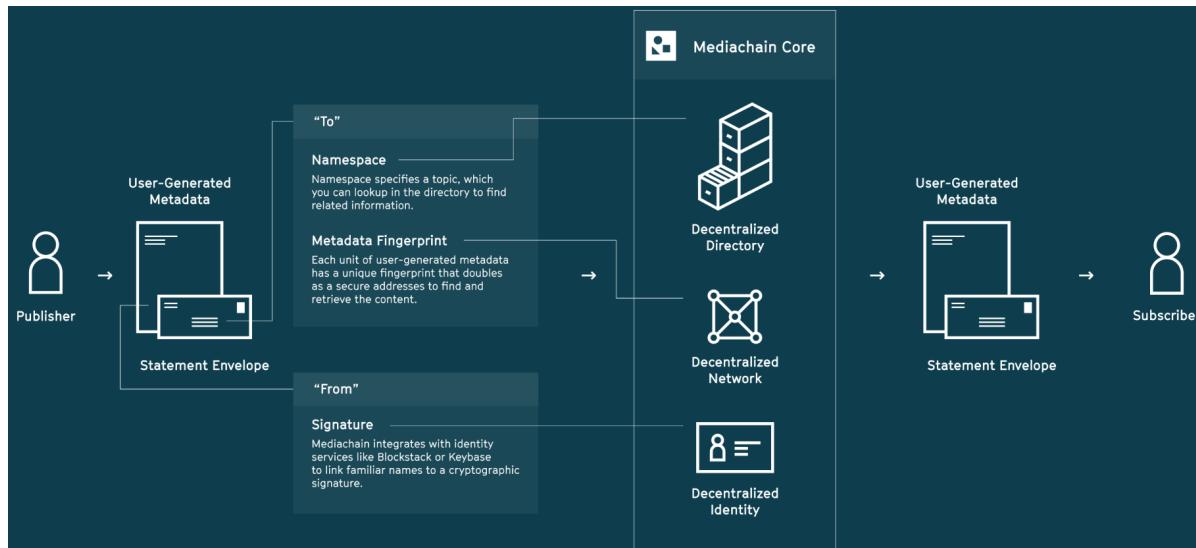


Schéma de l'utilisation de Mediachain

Source : « Mediachain », retrieved June 1, 2022, <http://www.mediachain.io/>

dont les règlements opérés par des sociétés de gestion collective peuvent prendre des mois, voire des années, ou même ne jamais arriver aux bénéficiaires.

La plupart des artistes dénoncent également la faiblesse des montants perçus pour une écoute sur les plateformes de *streaming*, qu'elles soient audiovisuelles ou musicales. Selon le site Digital Music News, la somme moyenne versée par YouTube aux artistes pour chaque écoute est passée de 0,0006 \$ en 2017 à 0,00074 \$ en 2019 et la somme moyenne versée par Spotify est de 0,004 \$³⁹.

Les blockchains, semble-t-il, apporteraient non seulement de la transparence à une chaîne de valeur particulièrement opaque, en court-circuitant certains intermédiaires, mais simplifieraient considérablement le paiement des artistes tout en s'adaptant aux nouveaux usages, notamment ceux qui sont liés à l'écoute de musique en *streaming*.

Mediachain⁴⁰, créé à New-York en 2016, est un index décentralisé de données. Mediachain se définit ainsi comme « *un espace logique unique, organisé par thème ou par application, permettant à de multiples participants de publier et de découvrir des données sans point central de contrôle ou de défaillance* ».

39 « How Much Does Spotify Pay Per Stream ? Here's the Latest Data (Updated for 2022) », Dylan Smith, digitalmusicnews.com, August 17, 2020, <https://www.digitalmusicnews.com/2020/08/17/how-much-does-spotify-pay-per-stream-latest/>

40 « Mediachain », Mediachain, retrieved June 21, 2022, <http://www.mediachain.io/>

En d'autres termes, Mediachain permet à de multiples participants de collaborer à des index de données de manière totalement décentralisée⁴¹ ».

L'un des problèmes auquel MediaChain tente d'apporter une réponse est celui de l'opacité de l'attribution des droits d'auteurs, notamment dans le domaine de la musique. L'idée de créer un index décentralisé, commun, ouvert et distribué, regroupe les informations relatives aux droits d'auteurs, jusqu'alors éparpillées dans les différents labels musicaux. Le registre ouvert de MediaChain utilise les métadonnées liées aux œuvres (nom de l'artiste, type de contrats, droits d'auteurs, ...) pour les référencer dans un index accessible à tous les professionnels. Ces métadonnées sont ensuite hachées et stockées dans IPFS (voir *supra*). MediaChain permettrait ensuite d'accéder à une cartographie des métadonnées liées aux œuvres stockées dans IPFS. En 2017, Mediachain a été racheté par Spotify, régulièrement condamné pour des infractions aux droits d'auteur, sans qu'il ne soit toutefois possible de connaître l'avancement du projet à ce jour.

Ces plateformes centralisées de *streaming* musical voient également l'émergence de nouveaux acteurs sur leur marché. **Audius**⁴², créé en 2017, est une plateforme de *streaming* musical en pair-à-pair, mettant en relation directement les artistes avec leur audience, auprès de laquelle une application iOS ou Android est disponible depuis 2020. D'abord construite sur Ethereum, Audius a migré sur la blockchain publique Solana⁴³ en 2021.

Audius fonctionne comme une plateforme de *streaming* classique : les artistes sont rémunérés en fonction du nombre d'écoutes générées sur la plateforme et perçoivent un pourcentage de rétribution bien plus élevé que sur des plateformes classiques comme Spotify ou Deezer. Selon la plateforme, 90 % des revenus générés sur Audius sont reversés aux artistes⁴⁴. Les artistes, rémunérés avec le token natif de Audius, le \$AUDIO, pourraient prochainement créer leur propre token, indexé sur le \$AUDIO.

La gouvernance de la plateforme est directement assurée par des membres de la communauté qui mettent en jeu (*proof of stake*) une somme d'argent en \$AUDIO et dont les droits de vote

41 « Mediachain an open, universal media library », Mediachain, retrieved June 21, 2022, <http://docs.mediachain.io>

42 « Audius », Audius, retrieved June 1, 2022, <https://audius.co/>

43 « L'industrie musicale, future victime de la Révolution blockchain ? Audius (Audio) au sommet des charts ! », Hellmouth Banner, Le Journal du Coin, 26 Octobre 2021, <https://journalducoin.com/actualites/audius-donne-le-tempo-dune-industrie-musicale-blockchainisee/>

44 « Audius, la plateforme qui rémunère le mieux les artistes (et les auditeurs) ? », Cloé Gruhier, Hauméa Magazine, retrieved June 1, 2022, <https://www.haumeamagazine.com/audius-la-plateforme-de-streaming-qui-remunere-le-mieux-les-artistes-et-les-auditeurs/#:~:text=Audius%20est%20une%20plateforme%20de,%C3%A0%20la%20crypto%2Dmonnaie>



dépendent de la somme investie. Au sein du réseau Audius, les *discovery node* sont des noeuds chargés d'enregistrer les nouveaux artistes sur la plateforme, afin d'encourager l'ajout de nouveaux créateurs de contenus directement par la communauté⁴⁵ et les *content node* sont des nœuds chargés de valider la mise en ligne des contenus musicaux sur la plateforme⁴⁶. Tous deux perçoivent des \$AUDIO pour leur participation au réseau.

Pour inciter les membres de la communauté à sécuriser la plateforme en immobilisant leur tokens (*proof of stake**), plus l'utilisateur épargne ses \$AUDIO, plus il débloque des fonctionnalités sur la plateforme, comme l'accès à des collections de NFT* ou encore l'accès privilégié à certains contenus. Audius, qui revendique plus de 6,2 millions d'utilisateurs actifs en mai 2022 est encore loin de ses concurrents comme Spotify ou Deezer, mais force est de constater que le projet prend de plus en plus d'ampleur.

Que ce soit dans le domaine de la musique ou même du cinéma, certaines initiatives blockchain visent à expérimenter de nouvelles sources de financement en impliquant notamment le grand public.

Inflow music, qui utilise Livepeer (voir *supra*), propose à des artistes, sportifs et

personnalités de créer leur propre token afin d'être directement financés par leurs fans qui, en échange, ont accès à des contenus exclusifs, des rencontres et des événements spéciaux accessibles uniquement aux détenteurs de tokens. Certains contenus, vendus sous la forme de NFT* pourront par la suite être revendus à d'autres acquéreurs, incluant, à chaque transaction, une commission de 15 % reversée à l'artiste. Inflow music se veut un moyen pour les artistes d'interagir sans intermédiaire avec leurs fans tout en bénéficiant de nouvelles sources de revenus. Inflow music, dont le service est encore en développement, a été incubé par l'accélérateur de *startups* du Web 3.0 Tachyon Accelerator, soutenu par ConsenSys et Protocol Labs⁴⁷.

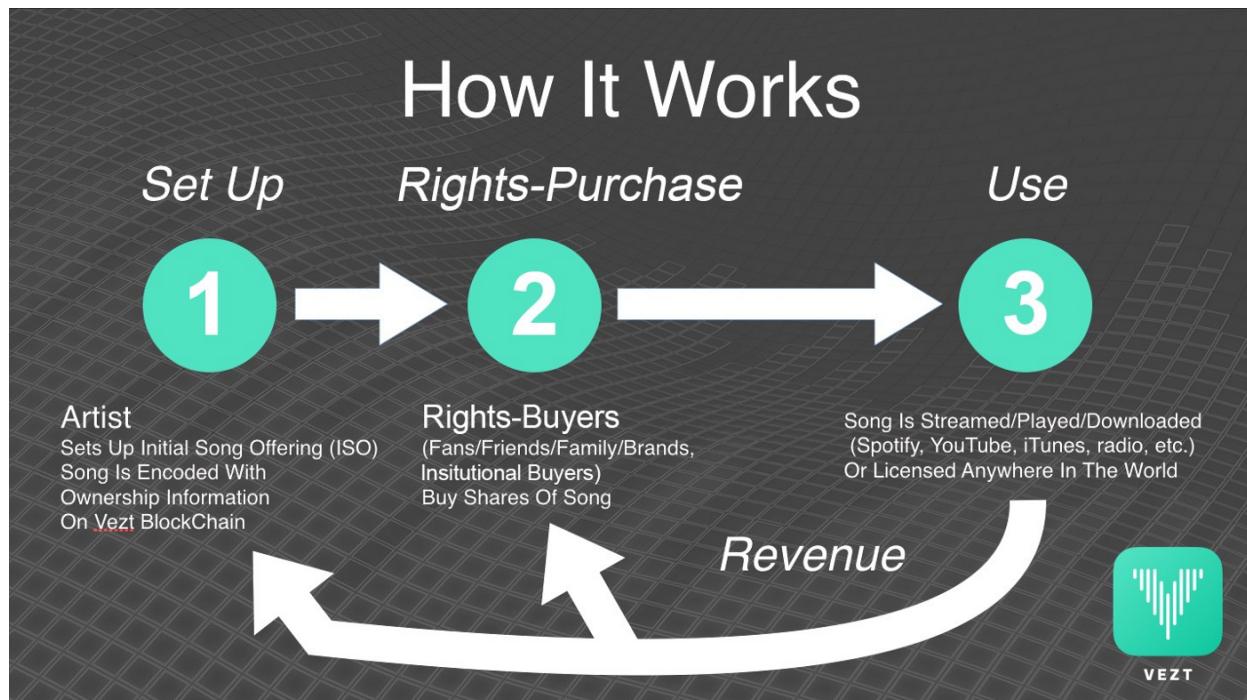
Vezt ou **Royal** proposent à des artistes de vendre une partie des royalties de leurs chansons écoutées en *streaming* sur les grandes plateformes d'écoute comme Spotify, Deezer ou Apple Music. **Vezt**⁴⁸, créée à Los Angeles aux Etats-Unis en 2017, est une application mobile de *streaming* musical construite sur la blockchain publique Ethereum, permettant à des artistes de mettre en vente une partie de leurs droits auprès de fans, qui seront ensuite rémunérés à hauteur de leur investissement initial. Plus précisément, Vezt met en vente certains droits d'auteur

45 « Audius, la plateforme qui rémunère le mieux les artistes (et les auditeurs) ? », Cloé Gruhier, Hauméa Magazine, consulté le 2 juin 2022, <https://www.haumeamagazine.com/audius-la-plateforme-de-streaming-qui-remunere-le-mieux-les-artistes-et-les-auditeurs/#:~:text=Audius%20est%20une%20plateforme%20de.%C3%A0%20la%20crypto%2Dmonnaie>

46 *Ibid.*

47 « How Inflow Created the First Music Platform for the Web3 Economy », Ivan Kreimer, Livepeer Video Services, May 26, 2022, <https://livepeer.com/blog/how-inflow-created-first-music-platform-web3-economy>

48 « Vezt », Vezt, retrieved June 1, 2022, <https://vezt.co>



How Vetz Works ?

Source : Vezt Inc, September 18, 2017, <https://medium.com/@vezt/the-real-greatest-hit-how-vezt-works-cb66aef74d67>

lors d'une campagne de financement participatif qu'ils appellent « *Initial Song Offering™ (ISO)*⁴⁹ » puis enregistre les droits de l'artiste auprès des sociétés de collecte de droits et des plateformes numériques, et les reverse ensuite au fur et à mesure, par le biais de *smart contracts**, aux artistes et aux acheteurs des droits selon le schéma en page d'après.

Par exemple, un artiste choisit une chanson et la date à laquelle vont être vendus les droits, par exemple 1000 \$ pour 1 % de leurs droits d'auteur, ainsi que la durée pendant laquelle les acheteurs vont être rémunérés, de trois ans, cinq ans, dix ans ou même à vie. Les acheteurs, notamment des fans, des professionnels

de la musique ou encore des marques achètent ces droits, dont l'artiste reçoit les fonds immédiatement. Les informations relatives aux droits de la chanson sont ensuite encodées sur la blockchain de Vezt et « *les redevances sont collectées à la fois auprès des sociétés de collecte de droits dans 137 pays du monde et auprès de STEM.is⁵⁰, un service qui regroupe les redevances de performance numérique des services de streaming tels que Spotify, iTunes, YouTube, Pandora, etc.⁵¹* »

Royal fait la même chose. C'est une plateforme qui vend les droits de chansons créées par des artistes sous la forme de NFT*.

49 « The Real Greatest Hit: How Vetz Works », Vezt Inc, Medium, September 18, 2017, <https://medium.com/@vezt/the-real-greatest-hit-how-vezt-works-cb66aef74d67>

50 « Stem brings clarity to your modern music business », Stem, retrieved July 11, 2022, <https://stem.is/>

51 « The Real Greatest Hit: How Vetz Works », Vezt Inc, Medium, September 18, 2017, <https://medium.com/@vezt/the-real-greatest-hit-how-vezt-works-cb66aef74d67>



Les artistes choisissent le pourcentage des redevances de la chanson qu'ils souhaitent mettre en vente et le public achète ces droits de redevances de musique en *streaming* sous la forme de NFT*. Au fur et à mesure qu'une chanson est diffusée sur les différentes plateformes de *streaming* - Spotify, Apple Music, Youtube, etc., elle génère des redevances qui reviennent aux investisseurs initiaux selon les conditions définies dans les NFT*. Pour être accessible, le grand public peut procéder à l'achat de NFT* en utilisant le crypto-actif stable* USDC sur Polygon (Matic), et un portefeuille* comme Metamask, ou payer en carte de paiement traditionnel, la plateforme se chargeant de créer un portefeuille pour l'utilisateur.

L'artiste pourra également prévoir un certain nombre d'avantages liés au token. Le NFT* peut ensuite être revendu à un nouvel acheteur qui bénéficiera des redevances et avantages associés au token. Le projet est construit sur Polygon, un layer 2 basé sur la blockchain publique Ethereum. Créé en au début de l'année 2021, Royal comptait 120 000 inscrits en août. En deux tours de table opérés la même année, Royal a levé 71 millions de dollars, dont certains de la part d'artistes⁵². Ces deux initiatives, Vetz ou Royal,

semblent donc s'inscrire dans la continuité du système mis en place par les organismes traditionnels de collecte de droits d'auteurs et ne renouvellent que l'accès des droits d'auteur non plus aux seuls professionnels de la musique mais à leurs fans et aux particuliers.

Il est également possible d'imaginer, grâce aux *smart contracts**, d'assurer la multi-propriété de droits d'auteurs. La communauté Ethereum développe depuis le 15 septembre 2020 l'EIP-2981⁵³, un « NFT Royalty Standard » pour permettre aux *smart contracts** NFT⁵⁴ d'indiquer les redevances correspondant au créateur et aux propriétaires de droits d'auteur. La norme « permet aux contrats, tels que les NFTs qui supportent les interfaces ERC-721 et ERC-1155, de signaler un montant de redevance à payer au créateur du NFT ou au détenteur des droits chaque fois que le NFT est vendu ou revendu⁵⁵ ». Si le paiement des redevances n'est pas encore automatisé et reste manuel, le standard signale que, dans un futur EIP⁵⁶, un mécanisme serait proposé pour résoudre le paiement automatique et les notifications.

52 « Combining Music Rights with NFTs: Royal Raises Big Money », Carpenter WellingtonPLLC, Lexology, December 9, 2021, <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=92d81306-ca86-47ca-b570-34ad16483039>

53 « EIP-2981: NFT Royalty Standard », Zach Burks, James Morgan, Blaine Malone, James Seibel, Ethereum Improvement Proposals, September 15, 2020, <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-2981>

54 Par exemple ERC-721 et ERC-1155 sur la blockchain Ethereum.

55 « EIP-2981: NFT Royalty Standard », Zach Burks, James Morgan, Blaine Malone, James Seibel, Ethereum Improvement Proposals, Sep 15 2020, <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-2981>

56 Ethereum Improvement Proposals (EIPs) : proposition de normes spécifiant de nouvelles fonctionnalités sur Ethereum.

La startup Stendhal⁵⁷ a ainsi développé **Collab Splitter**⁵⁸, une application web qui permet aux artistes de créer et déployer un *smart contract** compatible avec ce standard Ethereum, afin de recevoir et répartir des paiements en crypto-actif selon des règles personnalisées.

Science décentralisée

Selon l’Institut de recherche pour le développement⁵⁹ (IRD), établissement public français placé sous la double tutelle des ministères de l’Enseignement supérieur, de la Recherche et de l’Innovation et de l’Europe et des Affaires étrangères, le lien entre le monde de la recherche et les Objectifs de développement durable a vocation est amené à se renforcer : « *si la place de certains acteurs pour atteindre les Objectifs de développement durables (États, ONG, organisations internationales...) peut faire évidence, ce n'est pas le cas de la recherche dont le rôle est méconnu dans ce domaine. Or la recherche est – ou va être - amenée à jouer un rôle de premier plan dans l'atteinte de ces objectifs à l'horizon 2030 : produire des connaissances et des données fiables, proposer des solutions innovantes, évaluer les progrès enregistrés. La recherche scientifique et l'innovation ont en particulier un rôle majeur à jouer dans les pays en développement, particulièrement*

vulnérables et confrontés à de multiples défis, à la fois locaux et globaux (impacts du changement climatique, crises financières, pandémies, etc.)⁶⁰ ».

Le monde de la recherche scientifique fait ainsi l’objet d’expérimentation de projets blockchain. Même si la plupart de ces initiatives sont peu matures, un mouvement, celui de la Science Décentralisée (*Decentralized Science*), semble émerger pour notamment, selon, Sarah Hamburg, neuroscientifique et porteuse du projet Lynx « *changer la façon dont la recherche est financée et les connaissances partagées et (...) transférer la propriété et la valeur loin des intermédiaires de l'industrie*⁶¹ ».

La Science décentralisée vise à expérimenter de nouvelles sources de financement, l’examen de recherche scientifique par les pairs, l'accès ouvert à des publications et des données scientifiques tout en garantissant l'anonymat des personnes dont les données personnelles sont utilisées.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre Santé, un certain nombre d'applications autonomes décentralisées (DAO*) existent, comme **Molecule**, une plateforme qui permet à des scientifiques de partager leurs recherches et de présenter leurs projets

57 « Who we are ? », Stendhal, retrieved June 3, 2022, <https://stendhal.ai/>

58 « Split revenues from sales and royalties in a cheap, efficient and transparent way », Collab Splitter, retrieved June 21, 2022, <https://collab-splitter.org/>

59 « Une science engagée », IRD, retrieved July 21, 2022, <https://www.ird.fr>

60 « La recherche au service du développement, 17 objectifs pour un futur durable », 15 septembre 2020, <https://www.ird.fr/la-recherche-au-service-du-developpement-17-objectifs-pour-un-futur-durable>

61 « A Guide to DeSci, the Latest Web3 Movement », Sarah Hamburg, future.com, February 9, 2022, <https://future.com/what-is-decentralized-science-aka-desci/>



de façon structurée afin de se connecter à des collaborateurs et financeurs intéressés par leurs découvertes.

Ou encore **VitaDAO**, qui se présente comme une DAO* « *pour le développement de médicaments gouvernée par une communauté décentralisée et dont la principale mission est l'accélération de la recherche et du développement (R&D) dans le domaine de la lutte contre le vieillissement⁶²* », en s'appuyant sur des NFT* qui incorporent des contrats de licences de propriété intellectuelle.

Dans le domaine des évaluations scientifiques, **Ants Review** dénonce le fait que l'examen par les pairs et le contrôle de la qualité des publications scientifiques n'est ni rémunéré par les revues, ni apprécié à sa juste valeur par la communauté académique. Ants Review propose ainsi « *un système d'incitation basé sur la blockchain [Ethereum] qui récompense les scientifiques pour l'évaluation par les pairs des travaux d'autres scientifiques et qui renforce la confiance et la réputation⁶³* ».

Certains scientifiques voient également dans les NFTs* un moyen de lever des fonds pour financer leurs recherches. L'Université de Californie, Berkeley, a vendu aux enchères un NFT basé sur des documents du chercheur sur le cancer et Prix Nobel, James Allison pour 50 000 dollars⁶⁴.

Le créateur du *World Wide Web*, Tim Berners-Lee, a vendu aux enchères des fichiers horodatés contenant le code source de son invention sous la forme de NFT* et ainsi récolté 5,4 millions de dollars⁶⁵. Matt Stephenson, chercheur et fondateur de Planck Manuscripts⁶⁶ a vendu aux enchères un NFT représentant les résultats d'une étude empirique sur OpenSea⁶⁷, et compte utiliser les fonds pour répliquer l'étude avec plus de précision⁶⁸. Planck se décrit comme « *un système d'incitation visant à améliorer les incitations autour de l'innovation ouverte⁶⁹* ».

Dans le domaine de la santé, **Nebula Genomics** (voir Chapitre Santé), une entreprise de biotechnologie américaine créée en 2016, propose aux particuliers

62 « We're a DAO collective funding and advancing longevity research », VitaDAO, retrieved June 21, 2022, <https://www.vitadao.com/about>

63 « Ants-Review: A Privacy-Oriented Protocol for Incentivized Open Peer Reviews on Ethereum. », Bianca Trovò, Massari Nazzareno, January 22, 2021, *Euro-Par 2020: Parallel Processing Workshops*

64 « How scientists are embracing NFTs », Nicola Jones, Nature n°594, June 18, 2021, <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01642-3>

65 « The World Wide Web's inventor sold its original code for \$5.4 million », Oscar Holland, CNN, retrieved Jun e21, 2022, <https://edition.cnn.com/style/article/tim-berners-lee-nft-auction>

66 « Non-Fungible Incentives for open innovation », Planck Manuscripts, retrieved Jun 21, 2022, <https://www.p1anck.com/>

67 « Open Source Science Manuscript 1 », Open Sea, <https://opensea.io/planck ?tab=created>, retrieved Jun e21, 2022

68 « Launching the World's First Science NFT with Matt Stephenson from Planck », Unstoppable domains 62, Youtube, retrieved July 21, 2022, <https://www.youtube.com/watch ?v=U4Rnso2Vpi0>

69 « Non-Fungible Incentives for open innovation », Planck Manuscripts, retrieved June 21, 2022, <https://www.p1anck.com/>

un séquençage de leur génome dont les données sont indéchiffrables et donne à leur client le contrôle de qui peut y accéder.

Il est alors possible de donner accès à ces données à des laboratoires de recherche afin qu'ils effectuent des analyses sans le risque que les données personnelles des participants soient divulguées.

En juin 2021, la revue *Nature* publiait un article intitulé « *comment les scientifiques adoptent les NFTs ?⁷⁰* », en se demandant si cette tendance est « *une mode artistique fascinante, une catastrophe environnementale ou l'avenir de la génomique monétisée ?⁷¹* » Si personne n'a encore de réponse aujourd'hui, la question est dorénavant posée.

70 « How scientists are embracing NFTs is a trend of auctioning non-fungible tokens based on scientific data a fascinating art fad, an environmental disaster or the future of monetized genomics ? », Nicola Jones, *Nature*, June 18, 2021, <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01642-3>

71 *Ibid.*



ENJEUX ET QUESTIONS

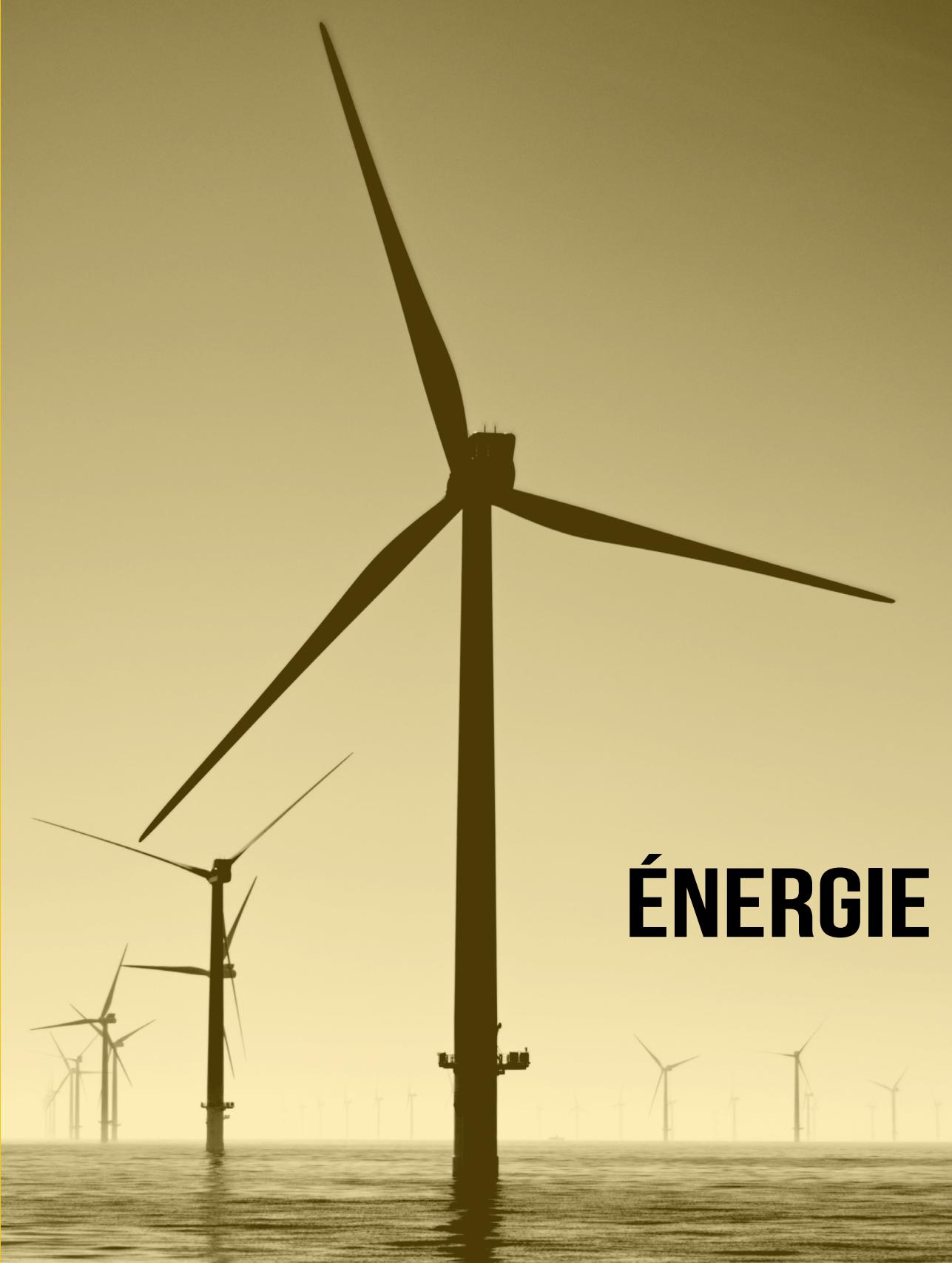
Il n'aura fallu que trente ans pour profondément transformer la pensée libertarienne de l'invention d'internet et du web, et pour que le rêve initial de Norbert Wiener, J.C.R. Licklider, Robert Taylor et bien d'autres – créer un outil citoyen de participation active et de créativité décuplée par l'interaction – engendre une concentration sans précédent des services du web par quelques géants du numérique dont le modèle d'affaire repose sur l'exploitation des données personnelles des individus, nouveau pétrole du 21^e siècle.

La promesse d'une nouvelle décentralisation du web, portée par le web 3.0 et ses services reposant sur des blockchains, n'est-elle qu'une redistribution des cartes vers de nouveaux centres de pouvoir ? Comment assurer une réelle décentralisation des services comme l'hébergement d'applications et de données ?

Suite à notre analyse, nous constatons que les initiatives à l'œuvre dans le domaine des médias et de l'information politique n'ont rien donné de concluant. De plus, les initiatives dans le domaine de la science décentralisée sont encore au stade de l'expérimentation.

La vague des NFT* dans les industries culturelles augure-t-elle un rééquilibrage des rapports de force entre les artistes et les intermédiaires dont ils dépendent dans leur relation avec leur audience ? De quelle manière ces projets redistribuent la valeur entre les membres d'une communauté comme celle portée par Hive ou Steem ?

La question de la monétisation et de la propriété de contenus *via* NFT* ne rend-elle pas leur accès plus limité et restreint à un cercle d'initiés ? En quoi les NFT* permettraient-il l'accès du plus grand nombre à l'art et à de nouvelles sources de financement ? Autant de questions qui n'ont encore pas de réponse aujourd'hui...



ÉNERGIE

ÉNERGIE

Nombre de projets dans la base : 124

Nombre de projets actifs : 45

Nom des projets actifs : Allinfra ; Ampere Energy ; Bitlumens ; Blok-Z ; Brooklyn Microgrid ; Clear Trace ; EcoKraft ; Electrify.Asia ; Electron ; Energy Unlocked ; Energy Web Foundation ; EnergyChain ; Enervalis ; Engie Power Corner ; Evolution Energie ; FlexiDAO ; Greeneum ; Grid Singularity ; Grid+ ; HydroCoin ; Irene Energy ; Leap ; LO3 Energy ; M-Kopa Solar ; OLI Systems ; OmegaGrid ; PowerLedger ; Powerpeers ; Prosume ; Pylon Network ; Red Grid ; Restart Energy ; Rewatt ; Share & Charge ; Solar Bankers ; SolarCoin ; SolShare ; Spectral ; Sunchain ; SunContract ; TEO : The Energy Origin ; The sun exchange ; Volt Markets ; WePower ; WPPEnergy ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à bonjour@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

L'Objectif de développement durable (ODD) 7, et notamment l'accès à l'énergie (cible 7.1) et la promotion de l'énergie renouvelable (cible 7.2), vise expressément à résoudre le double défi d'une démographie croissante et d'une « fracture électrique » faisant état d'un peu moins d'un milliard de personnes qui vivent sans électricité, et dont la moitié vit en Afrique subsaharienne. L'accès à l'énergie constitue également le pivot à partir duquel plusieurs autres Objectifs de Développement Durable peuvent être atteints, parmi lesquels l'emploi (ODD 8), la lutte contre le changement climatique (ODD 13) ou encore la production alimentaire (ODD 2 et 12).

En vertu de leurs propriétés intrinsèques, être un réseau pair-à-pair et assurer la transparence d'un registre commun dans un environnement sécurisé, les registres distribués et les blockchains trouvent, dans le domaine de l'énergie, un vaste champ d'exploration.

Dès 2015 les premiers projets ont émergé comme **Brooklyn Microgrid**, **Aizu Labs**, **Verv** ou encore **Evolution Energie**, dont certains ont disparu depuis. D'autres ont pivoté et changé de technologie, comme **M-Kopa Solar¹**. La base de données PositiveBlockchain.io fait apparaître quelque 128 projets

¹ Crée, au Kenya, en 2010, devenu une plateforme propriétaire qui associe la technologie GSM à un kit d'énergie solaire pour permettre le financement de produits via micro crédit pour les clients à faibles revenus au Kenya et qui revendique, en 2021, avoir financé près de « 400 millions de dollars ayant permis à un million de clients [au Kenya] d'accéder à de l'éclairage solaire, des téléviseurs et des réfrigérateurs économies en énergie, à des smartphones et à des prêts en espèces.« About M-KOPA ». M-KOPA, retrieved May 16 2022, <https://m-kopa.com/>



blockchains opérant dans le domaine de l'énergie dont seulement 47 sont toujours actifs en 2022.

Tous ces projets s'appuient sur le concept de tokenisation d'électricité. Une unité de production d'énergie, qu'elle soit hydraulique, éolienne ou encore solaire est assortie d'un dispositif électronique qui mesure, à la source, la quantité d'énergie produite, représentée sous la forme de tokens consignés dans une blockchain.

Cette « électricité tokenisée » peut alors faire l'objet d'échanges sur un marché de l'énergie en pair-à-pair qui permettra de produire, vendre, acheter et consommer de l'énergie verte. Puisque l'énergie provient d'une source d'énergie renouvelable, certifiée par un token, un certificat d'énergie peut être généré et revendu en tant que produit énergétique, soit en tant crédit carbone pour une entreprise qui souhaite compenser ses émissions de gaz à effet de serre, ou alors comme un canal de financement d'énergie renouvelable certifié.

Par exemple, depuis 2019, l'entreprise française **Ledger** équipe d'un boîtier électronique les éoliennes, les panneaux solaires et les installations hydroélectriques du fournisseur d'énergie Engie. Ce boîtier capte les données de production d'électricité

des installations et les consigne dans une blockchain publique afin d'en tenir le registre sans avoir recours aux organismes de certification habituels, comme Powernext². Ce boîtier est sécurisé à la fois d'un point de vue logiciel, « *la clef privée étant sécurisée à l'intérieur du boîtier*³ » et d'un point de vue matériel, comme par exemple, l'ajout d'un accéléromètre pour repérer si le boîtier change de place et détecter toute tentative de fraude.

Le recours aux blockchains dans le domaine des énergies et leur représentation sous la forme de tokens correspond à trois grands cas d'usage, interdépendants, que nous avons classé en Commerce de l'énergie (*Energy Trade*), Certificats d'énergie (*Energy Certificate*) et Optimisation du réseau (*Grid Operations*). La décentralisation de marchés volontaires de carbone, les dons en crypto-actifs fléchés vers des projets environnementaux ou encore les projets d'agroécologie et de reforestation sont traités dans le chapitre « Environnement et Climat ».

Le marché de l'énergie en pair-à-pair consiste à mettre en relation producteurs et consommateurs d'électricité à l'échelle locale qui s'achètent et se vendent mutuellement de l'électricité. On parle d'autoconsommation collective.

2 « Powernext, marché réglementé de l'énergie : tout comprendre », Charlotte Martin, 4 octobre 2021, <https://opera-energie.com/powernext-comprendre/>

3 « [Blockchain et énergie] Engie et Ledger inventent un boîtier pour automatiser la collecte de données », Floriane Leclerc, 9 novembre 2018, <https://www.usine-digitale.fr/article/blockchain-engie-et-ledger-inventent-un-boitier-pour-authentifier-les-donnees-en-entree.N767439>

Comme le note Alice Zannini de l'université d'Utrecht aux Pays-Bas dans sa thèse « *Blockchain technology as the digital enabler to scale up renewable energy communities and cooperatives in Spain⁴* » soutenue en 2020, « *le problème est que le système énergétique actuel est conçu pour des flux d'énergie à sens unique et ne tient pas compte du rôle des prosommateurs dans la création de flux d'énergie bidirectionnels⁵* ». Les prosommateurs, sont des « *consommateurs d'énergie qui produisent et consomment de l'électricité⁶* ».

L'Union européenne a ainsi financé en 2020 le projet **PV-Prosumers4Grid⁷**, conceptualisé en 2017, pour étudier cette tendance et établir la distinction entre trois concepts de prosommateurs : « *auto-consommation individuelle, utilisation collective d'une installation photovoltaïque dans un lieu donné et modèles énergétiques à l'échelle d'un quartier* ».

Les certificats d'énergie renouvelable, CER (*Renewable Energy Certificates* - REC) sont un instrument basé sur le marché qui certifie que le porteur possède un mégawattheure (MWh) d'électricité produite à partir d'une ressource énergétique renouvelable.

⁴ « *Blockchain technology as the digital enabler to scale up renewable energy communities and cooperatives in Spain* », Alice Zannini, Thesis, 2020, d'Utrecht University, <https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/36373?show=full>

⁵ *Ibid.*

⁶ « *La place des prosommateurs dans un réseau énergétique en pleine évolution* », Commission européenne, PV-Prosumers4 Grid N° de convention de subvention: 764786, Octobre 2017 Mars 2020, <https://cordis.europa.eu/article/id/303126-prosumers-in-the-changing-energy-grid/fr>

⁷ PV-Prosumers4Grid: <https://www.pvp4grid.eu>

⁸ AllInfra, retrieved Jun 27 2022, <https://allinfra.com/>

Une fois que le fournisseur d'électricité a injecté l'énergie dans le réseau, le certificat d'énergie renouvelable obtenu peut alors être vendu sur le marché comme un produit énergétique, notamment à d'autres entités polluantes en tant que crédit carbone pour compenser leurs émissions de gaz à effet de serre, ou alors comme un canal de financement d'énergie renouvelable certifiée.

Un « certificat d'énergie renouvelable distribué » (decentralized Renewable Energy Certificate - dREC) est, comme l'explique **AllInfra⁸**, startup fondée à Hong-Kong en 2018, « *la représentation numérique d'un certificat d'énergie renouvelable dont les données, consignées dans une blockchain, sont vérifiables par quiconque participe au réseau* ». L'avantage d'un tel système est que le véhicule financier, un token, permet de rendre bien plus transparent l'origine de la production d'énergie renouvelable, et surtout ne nécessite plus aucun intermédiaire entre le lieu et le moment où l'énergie renouvelable est générée et la création du certificat numérique.

La catégorie Optimisation du réseau correspond quant à elle aux projets blockchain qui exploitent et mettent en œuvre un réseau distribué d'électricité.



Fait notable et signe d'une certaine maturité, le domaine de l'énergie a vu une initiative majeure de blockchain publique, menée par l'Energy Web Foundation, qui se distingue des nombreux projets reposant sur des blockchains privées.

Energy Web Foundation est une fondation suisse à but non lucratif créée en 2017 par le Rocky Mountain Institute⁹ et Grid Singularity¹⁰ avec pour objectif de créer un « écosystème énergétique¹¹ » fondé sur les propriétés intrinsèques d'une blockchain publique dont les nœuds de validation sont gérés par une fédération de sociétés du domaine de l'énergie, qui peuvent postuler pour devenir un nœud de validation du réseau. Cette blockchain publique avec permission^{*12}, lancée en 2019 et spécialement conçue pour opérer des services liés à l'énergie, a vu se développer une trentaine d'applications décentralisées et de *smart contracts** parmi lesquels **Blok Z**, **FlexiDAO**, **Electron** ou encore **LO3 Energy**. La blockchain d'Energy Web est une blockchain publique, *open source*, dérivée de la blockchain Ethereum et qui s'appuie sur la preuve d'autorité (Proof-of-Authority) comme mécanisme de consensus. Ce qui lui permettrait de « *multiplier par 30 les performances et de réduire la consommation d'énergie de deux à trois ordres de grandeur par rapport à Ethereum*¹³ ». Outre cette différence majeure avec Ethereum, la blockchain d'Energy Web Chain a également été adaptée pour faciliter l'intégration d'appareils de l'Internet des objets* et y connecter des systèmes d'énergie distribués. **Parity Technologies** et **Slock**, fondées par des développeurs d'Ethereum, travaillent de concert avec l'Energy Web Foundation pour améliorer le code source de leurs blockchains. La conception initiale de la blockchain permet donc à n'importe quel appareil ou utilisateur de lire et d'écrire des transactions, mais s'appuient sur un réseau de participants autorisés à maintenir l'intégrité du réseau et valider les transactions. Dans le cas de l'Energy Web, seuls les participants autorisés du marché de l'énergie, approuvés par le modèle de gouvernance du réseau, servent de nœuds de validation¹⁴.

Le choix d'une blockchain publique permissionnée répond aux trois problématiques identifiées par le consortium : être en mesure de répondre à une montée en puissance du service, offrir des coûts de transaction bas, et consommer peu d'énergie. En mai 2022, 27 projets dans 15 pays sont déployés sur la blockchain d'Energy Web Foundation dans quatre grands domaines : « la gestion de Ressources énergétiques distribuées (*Distributed Energy Resource (DER) management*) , la traçabilité, la gestion du cycle de vie et l'e-mobilité¹⁵ ».

9 « Our Work », RMI, retrieved May 16, 2021, <https://rmi.org/>

10 « We Build Grid-Aware Energy Markets », Grid Singularity, retrieved May 16, 2022, <https://gridsingularity.com/>

11 « What is behind the EWT tokens ? », TheLuWizz, Medium.com, June 26, 2021, <https://medium.com/geekculture/what-is-behind-the-ewt-tokens-41b63cf8059b>

12 Les mots marqués d'un astérisque renvoient vers le glossaire.

13 Energy Web Foundation: <https://www.energyweb.org/>

14 « Validators Visualization », Energy Web, retrieved May 16, 2022, <https://validators.energyweb.org/>

15 Energy Web Foundation Map: <https://www.energyweb.org/project-map/>

Marché de l'énergie distribué et ressources énergétiques distribuées

La production d'énergie centralisée et la production/consommation d'énergie distribuée sont deux modèles de production difficilement conciliaires, parce que l'architecture des réseaux électriques nationaux a été construite autour de quelques très grands centres de production. Cette problématique n'est pas nouvelle. En février 2006, le n°48 du magazine d'information sur la recherche européenne publié par la Commission Européenne l'expliquait en ces termes¹⁶ :

Le système centralisé prévalant jusqu'à nos jours sur le marché européen de l'électricité est fondé sur une vision pyramidale, essentiellement ciblée sur le «devoir» de la distribution de ce vecteur énergétique essentiel. La priorité actuelle est d'assurer la «descente» d'une «manne électrique», qu'il faut d'abord générer en amont dans de gigantesques unités de production, où prédominent les grandes centrales nucléaires – avec des réacteurs délivrant des puissances moyennes de l'ordre de 1 300 MW – ou des centrales thermiques brûlant des quantités massives de combustibles fossiles. De là partent les lignes à très haute tension – via des réseaux interconnectés dont les tensions vont en décroissant – vers une myriade de points de consommation répartis sur de vastes zones

géographiques de dimension nationale (ou transfrontières). Bien que ces points se différencient fortement selon qu'il s'agit de consommateurs industriels, tertiaires ou individuels, les besoins à satisfaire sont unis dans une entité unique perçue comme une demande «globale». Une telle structure, bâtie sur le gigantisme, s'avère jusqu'à présent un obstacle quasi rédhibitoire au développement des énergies renouvelables qui, par nature, ne peuvent fournir de l'électricité que dans des gammes de petites ou très moyennes puissances.

Ce modèle centralisé n'a cependant pas empêché, depuis de nombreuses années, le développement progressif d'installations électriques locales, raccordées au réseau national ou non, et notamment portées par la production d'énergie éolienne, d'énergie de la biomasse, d'énergie solaire ou de micro-centrale hydraulique. Ces ressources énergétiques distribuées (RED) - Distributed energy resources (DER) sont « *des unités de production d'électricité (généralement de l'ordre de 3 kW à 50 MW) situées dans le réseau de distribution électrique, chez l'utilisateur final ou à proximité* » explique Barney L. Capehart, du College of Engineering de l'Université de Floride¹⁷. Ces ressources énergétiques distribuées, portées par la baisse continue des prix des produits éoliens et solaires, englobent l'ensemble

16 « Le joker de la production distribuée », RDT info, n°48, Magazine d'information sur la recherche européenne, Unité Information et Communication de la DG Recherche de la Commission européenne, février 2006, <https://web.archive.org/>

17 Distributed Energy Resources (DER), Barney L. Capehart, PhD, CEM College of Engineering, University



des techniques et technologies liées à la production, au stockage et à la distribution d'électricité, y compris les systèmes de « mesure de la demande », qui permettent ensuite de revendre l'électricité produite à l'échelle locale vers d'autres installations dans le même périmètre, ou encore au réseau national lorsque la législation le permet.

Comment fonctionne le marché de l'électricité en France¹⁸

Entre 1999 et 2007, le marché de l'électricité en France s'est progressivement ouvert à la concurrence et s'inscrit dans la dynamique européenne de créer un « *marché intérieur de l'énergie*¹⁹ ». Le marché de l'électricité en France articule (1) des producteurs d'électricité, (2) les gestionnaires de réseaux électriques et (3) les fournisseurs d'électricité qui opèrent sur deux marchés différents : le marché de détail, qui vise les consommateurs afin qu'ils aient accès à un contrat d'électricité ; et le marché de gros, qui désigne quant à lui le marché où l'électricité est négociée et achetée par les fournisseurs aux producteurs, avant qu'elle soit commercialisée sur le marché de détail. L'électricité ne pouvant pas être stockée pour une utilisation ultérieure, la production électrique doit s'adapter au plus près de la demande des consommateurs sur le marché de

détail et c'est le marché dit de gros qui assure cet équilibre entre l'offre et la demande d'électricité. Le marché de gros réunit les producteurs d'électricité, les fournisseurs d'énergie et les négociants qui jouent le rôle d'intermédiaire entre les deux premiers. Les transactions entre producteurs et fournisseurs ont lieu sur plusieurs types de marché dont les bourses de l'électricité, comme Epex Spot²⁰, la bourse européenne, et les marchés de gré à gré, soit sans intermédiaire entre les producteurs et fournisseurs ou soit intermédiaire, c'est-à-dire qui passent par un négociant en électricité. Sur le marché de gros, l'électricité est vendue en fonction de sa date de consommation, c'est-à-dire soit à court terme, dans des produits dits « spot », soit dans des produits « à terme », permettant d'anticiper les prix. L'organisation générale du marché de l'électricité n'a donc pas été pensée pour que le client final, le consommateur sur le marché de détail, se mette à produire de l'électricité, et encore moins, que ce dernier puisse échanger ses excès de production ou les réinjecter sur l'infrastructure de réseau électrique.

of Florida Updated, Oct 20 2016, <https://www.wbdg.org/resources/distributed-energy-resources-der>

18 Cet encadré s'inspire de « Comment fonctionne le marché de l'électricité en France ? » publié par Hello Watt. <https://www.hellowatt.fr/contrat-electricite/marche-electricite>

19 « Marché intérieur de l'énergie » <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fr/sheet/45/marche-interieur-de-l-energie>

20 Epex Spot: <https://www.epexspot.com/en/market-data>

La proposition de valeur des projets blockchains est double. La première est de pouvoir considérablement simplifier les marchés, de gros ou de détail, en mesurant à la source la production d'énergie, générant au passage les instruments financiers d'incitation à la production d'électricité verte (voir *supra*). La seconde est d'adapter le marché de l'électricité à ces nouvelles unités de production électrique, sans toutefois requérir d'intermédiaires entre producteurs, gestionnaires de réseaux et consommateurs.

Les registres distribués et les blockchains semblent offrir un cadre idéal pour faire évoluer, à l'échelle locale, le modèle de production énergétique actuel, conçu pour diffuser l'électricité à sens unique, à la prise en compte du rôle des producteurs/consommateurs dans la production d'énergie entre eux et vers le réseau national.

Ces technologies sont vues en outre comme l'un des moyens de concrétiser et valoriser le développement de production d'électricité locale dans des endroits où le réseau électrique est tout simplement inexistant. Ces technologies pourraient également permettre de mieux valoriser des sources d'énergie primaire comme le solaire, l'éolien ou l'hydraulique ou des sources d'énergie dérivées, lorsque la chaleur est produite à d'autres fins, en étant en capacité de *tokeniser* la production d'énergie renouvelable.

Le sujet est cependant complexe à mettre en œuvre. « *S'il y a de plus en plus de générateurs décentralisés qui y sont connectés, il faut veiller à la stabilité du courant qui circule, à l'équilibre entre le courant produit de manière centralisée et l'apport du décentralisé* », prévient Philipp Strauss, coordinateur de Dispower au sein de l'Institut für Solare Energieversorgungstechnik de l'université de Kassel en Allemagne.

Neuf initiatives blockchains de gestion de ressources énergétiques distribuées s'appuient sur l'Energy Web Chain, parmi lesquelles **FlexAlert** en Californie, qui permet aux habitants de la région de recevoir des alertes lorsque le réseau électrique est confronté à un besoin critique d'économie, **Project EDGE** en Australie, une place de marché où les gestionnaires de réseau peuvent réguler la demande et l'achat d'électricité solaire stockée dans les batteries de milliers de foyers australiens pour équilibrer le réseau ou encore le projet **SIM-centric blockchain enabled IoT**, porté par l'opérateur de télécommunication Vodafone, qui combine une technologie blockchain centrée sur la carte SIM avec la connectivité IoT de Vodafone Business afin d'intégrer aux réseaux d'énergie, de manière sûre et efficace, des actifs renouvelables et distribués comme les éoliennes, les batteries, les pompes à chaleur et les panneaux solaires.



Electron, une *startup* londonienne créée en 2015, développe également en ce sens une infrastructure numérique s'appuyant également sur l'Energy Web Chain qui s'adresse aux opérateurs de réseaux électriques, aux marchés financiers, et aux consommateurs d'électricité pour gérer la production électrique distribuée avec des places de marché locales, permettant notamment à l'opérateur de réseaux électriques de « *gérer les défis de l'intermittence, de la congestion et de la qualité de l'énergie présentés par la pénétration croissante des énergies renouvelables*²¹ ».

Electron a déployé, depuis 2015, huit projets d'optimisation de réseau dans quatre pays. En Angleterre, un projet pilote de deux ans, appelé TraDER, a été développé dans les Orcades (Orkney), un archipel subarctique situé au nord de l'Écosse qui compte soixante-sept îles, dont seulement seize sont habitées.

Le projet, financé à hauteur de trois millions de livres sterling et mené en partenariat avec EDF, Scottish and Southern Electricity Networks, Kaluza (OVO Group) et d'autres acteurs, a duré de juillet 2019 à mars 2021 ; il a consisté à créer un « marché local de l'énergie à la fois physique et en temps réel » : « *La plateforme de marché d'Electron a relié des producteurs d'énergie renouvelable, soumis à des contraintes et coupures de courant, à des actifs énergétiques*

*locaux flexibles capables d'absorber l'énergie excédentaire, ce qui a permis d'exporter et de consommer davantage de production éolienne*²² » explique le site web de l'entreprise.

Ce pilote participe au développement de leur plateforme décentralisée de « réponse énergétique à la demande », Flexibility Marketplace, dont l'objet est de gérer, de manière dynamique et en temps quasi réel, des marchés d'équilibrage entre les besoins d'un opérateur local d'électricité et les besoins d'un opérateur national.

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 adossée à un registre distribué de type 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...

21 « What blockchain can do for power grids ? », Magda Foti, Manolis Vavalis, Blockchain: Research and Applications, Volume 2, Issue 1, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100008>.

22 « Blockchain energy trading live in Scotland's Orkney Islands », Jonathan Spencer Jones, May 20, 2020, <https://www.ledgerinsights.com/blockchain-energy-trading-live-scotland-orkney-islands/>

Les certificats d'énergie renouvelables distribués

En France, les Certificats d'Économie d'Énergie (CEE) ont été mis en place en 2006²³ et imposés par les pouvoirs publics auprès des fournisseurs d'énergie, appelés « les obligés » pour accélérer leur transition énergétique en réduisant leur consommation d'énergie et inciter leurs clients à faire de même. Les grandes entreprises, appartenant notamment au secteur industriel et appelés « non-obligés », peuvent également obtenir des CEE afin de les vendre sur un marché financier.

Comme l'explique Certinergy, une filiale d'Engie, spécialisée dans les CEE, « *l'acteur ayant investi dans un matériel ou un chantier visant à améliorer sa performance énergétique se voit instantanément récompensé de ses efforts en touchant de l'argent, à la vente de ses CEE*²⁴ ». Le cours du kWh est administré par Powernext²⁵ dans un registre centralisé appelé Emmy²⁶. Ces certificats d'économies d'énergie français sont à rapprocher du système européen

Renewable Energy Certificate (RECS), responsable des certificats d'énergie européen (*European Energy Certificate System* ou EECS)²⁷.

L'initiative multipartite à but non lucratif D-REC (pour *Decentralized Renewable Energy Certificate*) menée par le secteur privé²⁸ a pour objet de mettre en œuvre, tester, et expérimenter de nouveaux mécanismes financiers pour inciter et répondre à la demande des grandes entreprises d'investir dans le développement des énergies renouvelables sur les marchés en développement et émergents, et notamment en Afrique²⁹.

Une première phase du projet vise, en partenariat avec le Le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD), à soutenir l'électrification de 1 000 hôpitaux et cliniques en Afrique et dont 45 millions de dollars de dépenses d'investissement ont déjà été obtenus en 2021³⁰.

Ainsi, un D-REC, étant la représentation numérique d'un certificat d'énergie

23 Loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique, <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000813253/>

24 « Certificats d'Economies d'Energie (CEE ou C2E) : le guide complet » Caroline Dusanter, 6 juin 2022, <https://opera-energie.com/certificats-economies-energie-cee/>

25 European Energy Exchange, <https://www.powernext.com/fr/fr>

26 Registre National des Certificats d'Economies d'Energie, <https://www.emmy.fr/public/accueil>

27 Les certificats d'électricité verte (RECS) <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/energie-renouvelable-certificats-electricite-verte-recs-1430/>

28 D-REC <https://www.d-recs.energy/about-us/>

29 Oct 22, 2021 SOUTH POLE. Blockchain energy trading live in Scotland's Orkney Islands May 20, 2020 by Jonathan Spencer Jones <https://www.ledgerinsights.com/blockchain-energy-trading-live-scotland-orkney-islands/> <https://sustainablebrands.com/read/cleantech/from-silicon-valley-to-rural-africa-boosting-energy-access-with-the-d-rec-initiative>

30 « About us », The D-REC Initiative, retrieved May 16, 2022, <https://www.d-recs.energy/wp-content/uploads/2021/12/Overview-of-the-D-REC-Initiative.pdf>



renouvelable, certifié via une blockchain, il devient un instrument financier directement accessible à des entreprises cherchant à acquérir des certificats d'économie d'énergie.. Une expérimentation a été menée au Rwanda en 2020. Des panneaux photovoltaïques, connectés à des dispositifs de mesure reliés à l'internet des objets (IoT) ont été déployés dans des zones rurales hors réseau, sur de petits bâtiments. Les données de production d'énergie solaires sont consignées dans une blockchain et les certificats d'énergie renouvelable sont générés sous la forme de *tokens* D-REC, qui sont alors achetés sur des marchés financiers tout la fois par les acteurs obligés (fournisseurs d'électricité) ou non-obligés (grandes entreprises).

Il n'y pas d'intermédiaire entre le lieu de production de l'électricité, qui peut être un système solaire domestique, un système commercial en toiture, un mini-réseau communautaire ou un micro-réseau, la génération des certificats d'énergie renouvelable distribués et le marché sur lequel ces certificats seront achetés, ce qui ouvre d'immenses perspectives pour assurer le financement de ces énergies renouvelables.

Concrètement, un développeur de projet installe un système d'énergie renouvelable distribué, tel qu'un système solaire domestique, un système commercial en toiture, un mini-réseau communautaire ou d'un micro-réseau

de campus dans une zone précise. Au fur et à mesure de la production d'électricité, les données sont transmises à une plateforme de surveillance et de suivi des D-REC dont le rôle est d'agréger des données de plusieurs systèmes d'énergies renouvelables et de les rendre conformes aux protocoles des organisations internationales de normalisation. Une entreprise achète ensuite ces D-REC et le produit de la vente revient à chaque opérateur qui aura mis en place le système d'énergie renouvelable.

« De plus en plus d'entreprises renforcent leurs engagements en matière de développement durable en achetant des énergies propres. Certaines cherchent de plus en plus à pousser leur engagement en faveur des énergies renouvelables vers les marchés émergents où elles ont une empreinte directe, ou indirecte via les partenaires de leur chaîne d'approvisionnement. Dans le même temps, il y a un besoin aigu d'énergie propre et fiable pour des choses comme les cliniques de santé ou les PME dans les communautés hors réseau dans beaucoup de ces mêmes pays³¹ », explique Patrick Bürgi, directeur de l'innovation et co-fondateur de South Pole, l'un des secrétaire général de l'initiative D-REC. « L'initiative D-REC utilise un instrument éprouvé, basé sur le marché, pour relier ces deux problèmes d'une manière qui peut avoir un impact positif à grande échelle ».

31 « UNDP Partners with D-REC Initiative to Scale Up Energy Access Through Innovative Investment Models », UNDP, August 3, 2021, <https://www.undp.org/press-releases/undp-partners-d-rec-initiative-scale-energy-access-through-innovative-investment>

Ayant reçu le soutien du programme de développement des Nations Unies (PNUD), **les D-RECs permettent de canaliser le financement des grandes entreprises directement vers des projets opérationnels et non plus vers des intermédiaires qui rendent opaques et complexes la vérification de ces certificats d'énergie.**

FlexiDAO, startup créée en novembre 2017, basée à Barcelone en Espagne et dont le siège social est à Amsterdam aux Pays-Bas s'inscrit également dans ce mouvement de « tokenisation de l'électricité » où chaque unité d'électricité devient un actif numérique générant un certificat d'énergie, dont l'émission, le transfert sont basés sur la preuve cryptographique.

Construit sur la blockchain Energy Web, les flux de données de FlexiDAO s'organisent en cinq catégories explique Accornero, co-fondateur et PDG de FlexiDAO : (1) des méta-données privées des actifs et des consommateurs stockées dans une base de données des détaillants. Les hachages sont utilisés comme preuve sécurisée des données *on-chain** pour la validation des données *off-chain**. (2) Des données contractuelles qui font le lien entre des identités anonymes (utilisateurs, biens, organisations, opérateurs, compteurs d'énergie, etc.) qui définissent et automatisent les relations contractuelles entre toutes les parties.

Des données des compteurs : l'énergie active accumulée et horodatée (à la fois consommée et produite), attribuée à une identité anonyme. (4) Des données de transaction des certificats : Données d'échange de certificats entre identités anonymes (y compris le type de certificat, comme le certificat d'origine des parcs éoliens terrestres) et (5) des données de réclamation de certificat : Les données de demande de certificat décrivent quelle identité anonyme et pour quelle période de temps le certificat a été utilisé/consommé. FlexiDAO forme ainsi la couche applicative, sous la forme de simples API (interfaces de programmation d'applications), d'un système intégrant des données disparates rendu possible par l'usage d'un registre commun.

Depuis 2017, FlexiDAO a développé de nombreux projets avec Eneco, Acciona, Microsoft, Total ou encore Google. Le plus récent, en 2022, a réuni FlexiDAO et Acciona Energia, filiale d'Acciona basée à Madrid, une entreprise espagnole développant des projets d'énergie renouvelable qui met notamment en œuvre des projets d'hydrogène vert à grande échelle.

FlexiDAO a développé pour Acciona une plateforme basée la blockchain Energy Web qui garantit l'origine renouvelable de l'hydrogène vert et permet également aux clients de vérifier le processus de transport et de livraison de ce type d'énergie propre. La plateforme, appelée GreenH2chain, a été mise en œuvre dans le cadre du projet *Power to*



Green Hydrogen³², destiné à créer un écosystème vert sur l'île de Majorque en Espagne. Les consommateurs d'hydrogène renouvelable peuvent ainsi « quantifier, enregistrer et surveiller le processus de décarbonisation de leur propre approvisionnement énergétique et (...) disposer de toutes les informations détaillées sur la consommation d'hydrogène elle-même, ainsi que les données permettant de calculer les émissions de dioxyde de carbone que les consommateurs évitent en utilisant ce type d'énergie verte³³ ».

Commerce d'énergie en pair-à-pair (P2P) dans les micro-réseaux

Les blockchains et les technologies de registres distribués permettent également d'opérer des systèmes d'énergie décentralisés et des micro-réseaux où des producteurs/consommateurs interagissent sur des marchés énergétiques en pair-à-pair.

Ce que l'on appelle l'autoconsommation collective consiste à produire localement de l'électricité propre, la consommer, vendre le surplus autour de soi ou, s'il en manque, l'acheter autour de soi, en ayant la garantie que toutes les

transactions – production d'électricité, vente et achat, seront enregistrées dans un registre distribué et infalsifiable. Les premières preuves de concept ont été réalisées il y a maintenant plus de dix ans, avec notamment, en 2011, le très médiatisé projet « Brooklyn Microgrid » conduit par Siemens, LO3Energy et Consensys, déployé à l'échelle d'un quartier de la ville de New York aux Etats-Unis. Les microgrids 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 peuvent concerner différentes échelles du territoire (bâtiment, quartier, zone industrielle ou artisanales, village, etc.)³⁴* ».

Cette offre d'énergie en pair-à-pair dans des micro réseaux s'adresse également à des populations déconnectées de tout réseau électrique. Ces initiatives, comme **SunChain**, **SOLshare**, **Engie**

32 Green Hysland vise à déployer un écosystème d'hydrogène (H2) entièrement fonctionnel sur l'île de Majorque, en Espagne, faisant de l'île le premier centre H2 d'Europe du Sud. Cet objectif sera atteint en produisant de l'hydrogène vert à partir de l'énergie solaire et en le livrant aux utilisateurs finaux, tels que les secteurs du tourisme, du transport, de l'industrie et de l'énergie de l'île, y compris l'injection dans le réseau de gaz pour la chaleur verte et l'utilisation finale locale d'électricité. « About Greenhysland », Green Hysland, retrieved May 16, 2021, <https://greenhysland.eu/about-green-hysland/>

33 « Acciona Energia. Case study. », GreenH2Chain, retrieved May 16, 2022, <https://www.flexidao.com/case-studies/green-h2-chain-by-accionae>

34 Commission de régulation de l'énergie, autorité administrative indépendante française, créée le 24 mars 2000.



Solar Homes Systems - SolShare

Source : SolShare, <https://www.youtube.com/channel/UCTnIGAHPH93AX69NpNbZfVw>

Power Corner ou encore **Power Ledger** mettent en œuvre des systèmes solaires domestiques (*Solar Homes Systems - SHS*) et des micro-réseaux électriques (*mini-grid*) pour opérer le suivi de la production et de la consommation d'électricité à l'échelle locale.

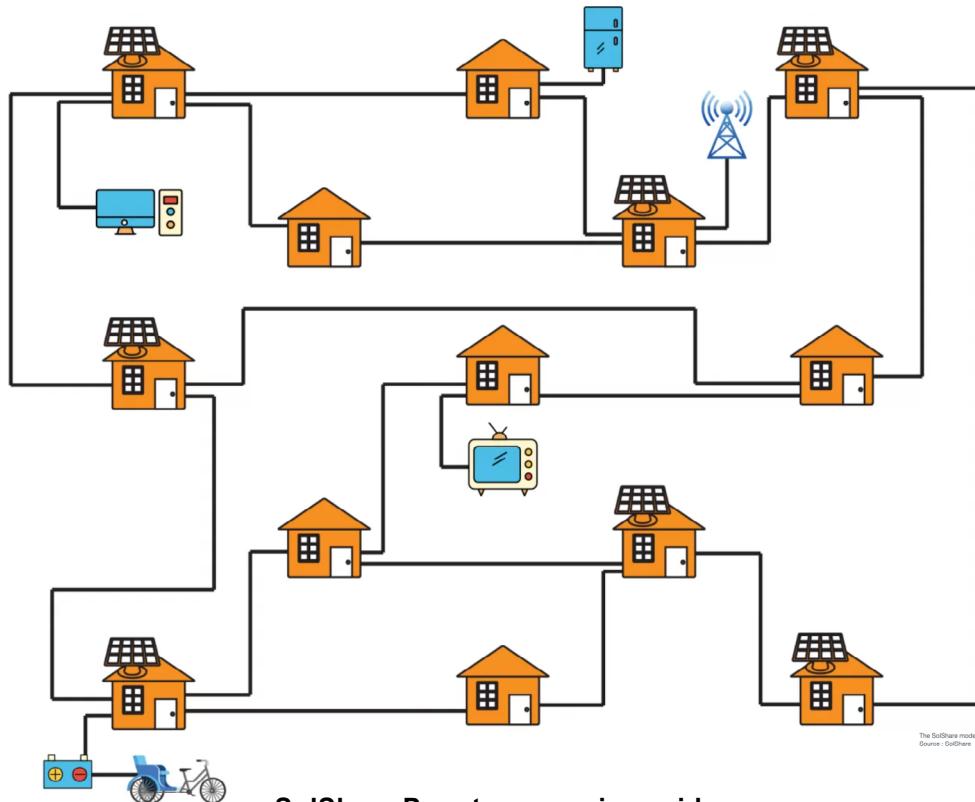
Crée en tant que filiale de la société allemande de conseil MicroEnergy International GmbH (MEI), **SOLshare** a été fondée en 2014 à Dhaka, au Bangladesh.

Elle a pour activité principale « *la conception, la gestion de la fabrication et la vente d'un contrôleur de charge innovant pour les systèmes solaires domestiques (Solar Homes Systems - SHS) qui gère l'interconnexion entre de multiples utilisateurs à un micro-réseau décentralisé de courant continu*

basse tension et facilite le commerce de l'électricité pour les ménages et les petites entreprises dans les villages hors réseau à forte densité de population³⁵ ».

SOLshare permet la mise en œuvre de micro-réseaux électriques, distribués et dynamiques permettant ainsi de fournir de l'énergie solaire à une population locale éloignée de tout réseau électrique (voir image *infra*).

35 « Home », SOLshare, retrieved May 16, 2022, me-solshare.com



SolShare Peer-to-peer microgrids

Source : SolShare, <https://me-solshare.com/>

Les personnes détentrices de panneaux photovoltaïques sur leur habitation produisent de l'électricité pour leur usage personnel et peuvent également vendre leur excédent d'électricité autour d'eux selon le réseau construit entre eux.

« Grâce à nos solutions, les communautés rurales peuvent échanger de l'énergie solaire, réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 30 % et augmenter les revenus de leurs ménages de 25 %, tandis que les conducteurs d'e-rickshaw obtiennent de meilleures possibilités de recharge et de profit ». En novembre 2021, SOLshare a pour la première fois relié un réseau d'électricité distribué au réseau électrique national.

ENGIE PowerCorner, incubé en 2015 au sein du Groupe ENGIE a mis en service PowerCorner en mars 2016, un premier micro-réseau électrique de 16 kW à Ketumbeine, un village isolé du nord de la Tanzanie, permettant d'alimenter quelque 120 maisons et entreprises locales ainsi que des services publics parmi lesquels un centre de santé rural et deux écoles. En 2020, ENGIE PowerCorner comptait 13 mini-réseaux en service dans deux pays, en Tanzanie et en Zambie, desservant 15 000 bénéficiaires et devait s'étendre en Ouganda, au Bénin et au Nigéria courant 2021. Le Groupe Engie, soutien de première heure de l'Energy Web Chain, a annoncé en juillet 2021 développer une plateforme de financement participatif qui permettra

à des micro-investisseurs de financer l'installation d'actifs énergétiques propres en mettant en jeu (*staking*^{*}) des Energy Web Tokens (EWT), le token natif de la blockchain publique Energy Web, en échange d'un taux d'intérêt fixe, à l'instar de ce que fait déjà la plateforme Sun Exchange en Afrique du Sud (voir chapitre Finance).

Power Ledger, créé en 2017 en Australie, a levé 26 millions de dollars lors d'une ICO^{*} pour lancer une solution de créer un réseau d'échange d'énergie solaire en pair-à-pair afin de « suivre, valider et fournir une traçabilité de chaque transaction d'énergie solaire en temps quasi réel³⁶ » explique Jemma Green, co-fondatrice de Power Ledger. Cette plateforme de marché de l'énergie solaire en pair-à-pair permet aux consommateurs de vendre leur surplus d'électricité à d'autres utilisateurs résidentiels et commerciaux.

L'entreprise a déployé sa plateforme auprès d'une trentaine de clients répartis en Australie, en Autriche, en France, au Japon, en Inde, en Malaisie, en Thaïlande et aux Etats-Unis. En 2021, Power Ledger s'est associé en Inde à l'India Smart Grid Forum (ISGF) et à Tata Power-DDL pour déployer

un pilote au nord de Delhi réunissant 65 producteurs/consommateurs avec 75 sites consommateurs dans la capitale représentant 140 bâtiments.

La plateforme permet le commerce en pair-à-pair de l'énergie solaire provenant de systèmes photovoltaïques de plus de 2 MW.

D'un point de vue technique Power Ledger a d'abord développé EcoChain™, une blockchain privée basée sur la preuve d'enjeu - Proof-of-Stake (PoS) pour tester plusieurs pilotes entre 2016 et 2017. En 2017, la plateforme a été développée sur un réseau Ethereum Consortium Proof-of-Authority (PoA) sans frais, modifié pour les besoins de l'entreprise. En juillet 2021, Power Ledger a annoncé³⁷ développer une blockchain modifiée et permissionnée basée sur la blockchain **Solana** qui permettrait, selon John Bulich, co-fondateur et Directeur technique de Powerledger, « *un débit de 50 000 transactions par seconde et s'adapter aux services déployés par Power Ledger : Pair-à-pair, services de flexibilité, traçabilité énergétique et applications d'échange de certificats*³⁸ ».

36 « Cofounder of blockchain-based solar power company explains what the technology means to the future of energy », Michael O'Neill, Business Insider, April 14 2021, <https://www.businessinsider.com/cofounder-of-power-ledger-explains-how-blockchain-can-help-realize-a-decentralized-and-democratized-energy-future-2021-4>

37 « Power Ledger launches next generation blockchain, moves away from Ethereum », PowerLedger, Medium, July 12, 2021, <https://medium.com/power-ledger/power-ledger-launches-next-generation-blockchain-moves-away-from-ethereum-d00e031c4cfb>

38 « Blockchain FAQs », Power Ledger, September 2, 2021, Medium, <https://medium.com/power-ledger/blockchain-faqs-3549a9bdeb6a>



En plus de proposer un nombre plus élevé de transactions par seconde, le choix de s'appuyer sur la blockchain **Solana** s'explique parce qu'elle permet de passer d'un mécanisme de consensus par la preuve de travail, énergivore à un double mécanisme de consensus Proof-of-History et Proof-of-Stake plus en adéquation avec l'activité de Power Ledger.

Sunchain, un *spin-off*³⁹ du bureau d'étude Tecsol créé en France en 2016, a développé plusieurs installations d'autoconsommation collective reposant sur une blockchain développée sur Hyperledger, et dont la plus récente, **Smart Lou Quila**, a été lancée en mars 2021 au Cailar, dans le Gard, en France.

En partenariat avec Enedis et le fournisseur d'énergies 100% renouvelables, Planète OUI, l'initiative regroupe un lotissement de six maisons et une installation sportive, qui se partagent une électricité produite par des panneaux photovoltaïques situés sur les toits des habitations et du stade municipal, ainsi que trois batteries de stockage stationnaires et d'un système de recharge de véhicules électriques.

Le commerce de l'électricité de pair à pair (P2P) est donc un modèle basé sur une plateforme interconnectée, qui sert de marché en ligne où les consommateurs et les producteurs échangent, c'est-à-dire achètent et vendent, de l'électricité directement, sans avoir recours à un intermédiaire.

39 Le *Spin-off* correspond à la création d'une nouvelle entreprise dans le cadre d'une scission relative à une branche d'activité d'une société existante, consistant en la distribution sous forme de dividendes aux actionnaires des actions de la filiale en échange des actions d'origine de l'entreprise mère. <https://www.mazars.fr/Accueil/Services/Financial-Advisory/Glossaire-Definition/S/Spin-off>



En Afrique, les ressources en biomasse et en hydroélectricité sont plus abondantes dans les régions humides, australes et centrales du continent, et l'énergie éolienne est très présente dans les régions orientales et septentrionales du continent. En revanche, le soleil est présent partout. Malgré cela, le continent, qui possède la plus grande ressource solaire au monde, n'a installé que 5 gigawatts d'énergie solaire photovoltaïque, soit moins de 1 % du total mondial. Or en Afrique subsaharienne, seuls 28 % des établissements de santé disposent d'une électricité fiable, deux tiers des écoles n'ont pas d'électricité fiable et l'enseignement à distance est inimaginable. **Le principal frein au déploiement de l'énergie solaire en Afrique est le manque de financement des entreprises et des organisations.**

Avec plus de 300 jours d'ensoleillement par an et la baisse des coûts technologiques, l'Agence internationale de l'énergie prévoit que d'ici 2040, le solaire photovoltaïque dépassera l'hydroélectricité et le gaz naturel en termes de capacité installée pour devenir la première source d'électricité du continent (Agence internationale de l'énergie 2019). Les mini-réseaux pourraient jouer un rôle essentiel dans la fourniture d'électricité aux communautés rurales et aux entreprises locales.

La plateforme **The Sun Exchange**, fondée en Afrique du Sud en novembre 2015, par Abe Cambridge est une place de marché de *microleasing* qui met en relation des investisseurs, particuliers et entreprises, avec les bénéficiaires d'installations solaires dans les zones rurales.

La plateforme Sun Exchange permet à toute personne disposant d'une connexion Internet d'acheter des cellules de panneaux solaires en ligne et de les louer à des entreprises, des hôpitaux, des écoles et d'autres organisations basées en Afrique, avec la promesse d'un rendement de 10 % sur un contrat de 20 ans. La plateforme Sun Exchange organise le processus de collecte et de distribution des loyers mensuels par le biais de Bitcoin ou de la monnaie locale. La plateforme utilise la blockchain Bitcoin pour les paiements transfrontaliers afin qu'il n'y ait aucun intermédiaire entre les bénéficiaires de l'installation qui paient leur électricité et les investisseurs qui ont participé à l'achat des panneaux solaires.

Entre janvier et novembre 2015, The Sun Exchange a installé le prototype de la première centrale solaire dans une école de la région du Cap, entièrement financée par des particuliers en crypto-actifs. En février 2022, plus d'une cinquantaine d'installations solaires ont été financées par des investisseurs répartis dans 183 pays dans le monde et pour une capacité électrique totale de 10,9 mégawatts.



Comment The Sun Exchange met en place un projet solaire local ?

Une équipe d'ingénieurs de la société The Sun Exchange évalue, avec des entreprises de construction locale, la faisabilité technique et économique ainsi que les impacts sociaux et environnementaux d'un projet solaire. Une fois que le projet est prêt à être financé, il est publié sur la plateforme de financement participatif, où tout le monde peut s'inscrire et acheter des cellules solaires - au prix de 50 rands sud-africains (4 dollars) par cellule. Une fois toutes les cellules solaires vendues, le partenaire local se charge des travaux de construction, qui durent en moyenne de quatre à six semaines.

Les panneaux solaires sont connectés à la plateforme The Sun Exchange par le biais de *smart contracts** utilisant des capteurs de l'Internet des objets (IoT). Une fois les installations solaires opérationnelles, le bénéficiaire paie pour consommer l'électricité produite par les cellules, et les propriétaires du panneau solaire reçoivent chaque mois le montant correspondant à leur investissement, sous forme de loyers nets d'assurance et de frais de service, payés en monnaie locale ou en Bitcoin.

Les bénéficiaires sont des écoles, des maisons de retraite, des petites et moyennes entreprises, des parcs naturels, des associations à but non lucratif et d'autres

organisations qui ne peuvent pas se permettre l'investissement initial d'une installation solaire. Grâce aux installations solaires de The Sun Exchange, ces organisations ont réduit leurs coûts énergétiques de 20 à 30 % et ont pu réorienter ces fonds vers leurs offres principales, notamment en offrant une éducation de qualité aux enfants, des environnements de vie positifs aux résidents âgés et des soins aux animaux sauvages vulnérables. En 2019, les projets menés dans les écoles et les maisons de retraite ont bénéficié à quelque 5 500 apprenants et 150 personnes âgées.

Pour que la plateforme The Sun Exchange perdure, le coût de l'électricité solaire photovoltaïque doit être inférieur à celui de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles ou d'énergies à forte intensité carbonique. La baisse des coûts technologiques a entraîné une chute drastique du prix de l'électricité solaire. Selon le rapport 2019 New Energy Outlook de BloombergNEF⁴⁰, le coût des modules solaires a diminué de 89 % depuis 2010 et diminuera encore de 34 % d'ici 2030.

En outre, la blockchain et les crypto-actifs rendent possible le financement d'impact grâce à des paiements transfrontaliers sans friction qui contournent les intermédiaires financiers coûteux entre les micro-investisseurs et les bénéficiaires des projets solaires grâce à des *smart contracts**.

40 « BloombergNEF New Energy Outlook 2019 », BloombergNEF, 2019, <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>



ENJEUX ET QUESTIONS

Parce que la diversité des expérimentations mettant en œuvre des blockchains dans le domaine de l'énergie a débuté il y a plus de dix ans, le secteur semble gagner en maturité plus rapidement que d'autres. L'initiative menée par l'Energy Web Foundation donne à voir l'intérêt d'une blockchain publique permissionnée à partir de laquelle d'autres entreprises, startups ou gouvernements innovent en s'appuyant sur un registre et une infrastructure commune.

Que ce soit pour tenir les registres de transactions d'approvisionnement, de comptage et de facture en énergie, plusieurs autres applications offrent des perspectives prometteuses, notamment dans le domaine des certificats d'énergie, des garanties d'origine ou encore des quotas d'émission. Il s'avère toutefois que le développement de ces initiatives reste confronté à des enjeux de taille.

Le secteur de l'électricité met en œuvre une infrastructure critique dont l'exploitation et la maintenance doivent être prises en charge par

un ou des opérateurs. En revanche, la désintermédiation induite par le développement de projets blockchain montre « *que certains intermédiaires comme les plateformes de négociation (trading platforms), les négociants, les banques ou les sociétés d'énergie, pourraient non pas ne plus être nécessaires, mais leur rôle serait en tout cas considérablement réduit* » expliquait déjà en 2016 le rapport « *Blockchain – an opportunity for energy producers and consumers ?* » publié par PWC¹.

Comment anticiper la montée en puissance du nombre d'utilisateurs du commerce d'énergie en pair-à-pair, dont les blockchains servent de registre pour consigner la production et la consommation d'électricité ? Seront-elles capables d'absorber des centaines de milliers voire des millions de transactions ? Que se passerait-il en cas de coupure du réseau ? Qui serait responsable et qui prendrait en charge les éventuels coûts de réparation, qu'ils soient matériels ou logiciels ? N'y a t'il pas un risque de « fracture électrique » entre les particuliers capables de

¹ « Blockchain – an opportunity for energy producers and consumers ? », PWC, 2016, <https://www.pwc.com/gx/en/industries/assets/pwc-blockchain-opportunity-for-energy-producers-and-consumers.pdf>

s'équiper et devenir producteurs d'énergie, et ceux qui resteront *de facto* des consommateurs.

Ceci étant, des initiatives blockchains apportent une réponse innovante à cette problématique, comme l'illustre la plateforme The Sun Exchange ou encore SolShare.

Comment permettre également au gestionnaire historique des réseaux électriques d'adapter et d'équilibrer la production d'énergie selon l'offre et à la demande générés par ces réseaux périphériques ?

Se pose également la question de la confidentialité des données échangées sur ces plateformes.

Sur le marché des « prosommateurs », à la fois producteurs et consommateurs d'électricité, comment garantir que les transactions soient tout à la fois certifiées tout en respectant la confidentialité des données personnelles ? La question de la gestion des contentieux du fait de l'absence d'intermédiaires est également entière.

Enfin, un autre enjeu, primordial, est celui de l'évolution du cadre réglementaire qui permettrait aux mini-réseaux de se déployer plus largement sur les territoires, ce qui implique une meilleure articulation et une plus grande efficacité de l'échange et du partage de données entre le réseau national et ces mini-réseaux.



GOUVERNEMENT & DÉMOCRATIE

GOUVERNEMENT ET DÉMOCRATIE

par **Pierre Noro**, enseignant « *Blockchain for Public Good, Governance and Regulation* » à Sciences Po Paris, Directeur des opérations de Pebble.

Nombre de projets dans la base : 78

Nombre de projets actifs : 34

Nom des projets actifs : Aragon ; Bitland ; Blockademia ; Callisto ; Chromaway ; Civic Ledger ; DAOhaus ; DAOstack ; DemocracyEarth ; District0x ; EBSI ; Electis ; FlexFinTx ; Followmyvote ; Geon Network ; Gitcoin ; GivEth ; Gmerits ; Horizen ; Horizon State ; Originalmy ; OS City ; Polys ; Possible Today Foundation ; Procivis ; Singapore Smart Nation Initiative ; Smart Certificate ; Smart Dubai ; SourceCred ; Tellor ; The Bounties Network ; The Commons Stack ; TruBudget ; Voatz ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à bonjour@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

Comment une technologie résolument anarchiste, libertarienne, dans un sens « anti-État » peut désormais être présentée comme une opportunité pour la rénovation de nos systèmes démocratiques et des administrations publiques, au niveau local, national et international ?

Il existe une porosité surprenante, un dialogue étonnant entre les écosystèmes blockchain et les institutions publiques. Les réponses apportées par l'une, face aux failles systémiques et aux abus des tiers de confiance, sont désormais une source d'inspiration essentielle pour l'innovation publique.

Les technologies blockchains en général, les systèmes de gouvernance décentralisés en particulier, remettent en question la place de la confiance dans l'organisation de nos sociétés.

Loin du fantasme d'être des systèmes « *trustless* », qui se structurent uniquement par le biais d'une mathématique de règles de marché, l'utilisation des registres décentralisés et de mécanismes d'incitation à la participation au réseau interrogent les conditions de la confiance dans une gouvernance plus horizontale et polycentrique¹.

¹ Primavera de Filippi, Morshed Mannan, Wessel Reijers. Blockchain as a confidence machine: The problem of trust & challenges of governance. Technology in Society, Elsevier, 2020, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03098449>



Alors qu'un nombre grandissant d'États, pourtant pourvus d'une longue tradition républicaine et démocratique, voient arriver à leurs têtes des leaders élus sur des programmes politiques à tendance populiste et illibérale, et que les sondages internationaux signalent une crise globale et profonde de l'attachement des populations à la démocratie, les expérimentations présentées ici, qu'elles aient été vectrices d'un véritable impact social positif ou bien qu'elles soient restées au stade de projet, nous livrent des leçons précieuses sur les conditions essentielles de succès pour des mécanismes de gouvernance démocratiques : l'ouverture et la transparence.

Bitcoin, une idéologie et une gouvernance alternative

En inscrivant dans le « *genesis block* », le tout premier bloc de la blockchain Bitcoin, une référence à la une du journal *The Times* paru le 3 janvier 2009, Satoshi Nakamoto ne fait pas que poser la fondation de sa création. Il revendique explicitement, dès les origines de Bitcoin, son caractère révolutionnaire, alternatif, voire anarchiste.

« *The Times* 03/Jan/2009 Chancellor on brink of second bailout for banks². »

En un bref message, Satoshi Nakamoto réaffirme l'idéologie des cypherpunks³ et la nécessité de s'affranchir d'un système financier et monétaire marqué par une crise profonde. Aux yeux de la petite communauté qui se fédère autour de Bitcoin et des précédentes expérimentations qui ont mené au premier crypto-actif d'envergure, les États et leur pouvoir centralisateur sont tout aussi coupables que les établissements financiers à l'origine de la crise de 2008.

Les « *bailouts*⁴ » réalisés à grands renforts d'argent public sont à la fois des exemples du caractère arbitraire des monnaies souveraines et des symptômes d'un système monétaire insuffisamment transparent, ouvert et décentralisé.

Les technologies blockchains rendent possibles des alternatives aux monnaies souveraines, mais aussi aux organisations centralisées, qu'elles relèvent du secteur privé ou qu'elles soient d'origine étatique. Bitcoin prouve rapidement qu'un registre distribué au sein d'un réseau de pair-à-pair, ouvert, *open source* peut devenir une infrastructure numérique publique permettant à ses utilisateurs pseudonymes d'enregistrer et de partager de manière synchronisée et sécurisée des informations identiques et immuables, qu'elles soient financières ou non.

2 « *The Times* 03/Jan/2009 La chancelière au bord d'un second plan de sauvetage des banques ».

3 Mot valise construit à partir de « *cipher* », chiffrement et « *punk* ». Il désigne les personnes qui préconisent l'utilisation généralisée de la cryptographie forte et des technologies de renforcement de la vie privée comme une voie vers le changement social et politique.

4 « Renflouement », l'octroi d'une aide financière à une société ou à un pays afin de lui éviter la faillite ou la

Les technologies blockchains ne remettent pas seulement en cause le monopole de l'État sur la monnaie souveraine : elles questionnent le rôle de tout tiers de confiance, de tout intermédiaire et de toute organisation centralisée et verticale.

Ces valeurs d'ouverture, de transparence et d'horizontalité au cœur de Bitcoin se retrouvent également dans sa gouvernance. Le programme qui permet à n'importe qui d'accéder au registre et d'en devenir validateur est *open source* (voir Introduction). La gouvernance du réseau est d'abord informelle, la communauté s'organise autour de forums et de boucles emails avant que plusieurs *core developers* (Amir Taaki, Luke Dashjr et Pieter Wuille notamment) standardisent le système de Bitcoin Improvement Proposals⁵ (BIP), durant l'été 2011.

Retenant les outils de collaboration mis en place dans d'autres communautés *open source*, les *Bitcoin Improvement Proposals* deviennent le format permettant à n'importe qui de proposer une mise à jour du code de Bitcoin. Une fois présentés à la communauté, toujours via la *mailing list* ouverte Bitcoin, et discutés une première fois pour s'assurer de leur pertinence, les BIPs sont soumis

banqueroute.

⁵ Bitcoin Improvement Proposals : un document conçu pour proposer et introduire des fonctionnalités ou des informations aux utilisateurs de l'infrastructure Bitcoin.

⁶ Dire que les mineurs « votent » est, [comme l'explique Peter Wuille](#), une simplification : les mineurs ne votent pas mais signalent leur soutien à des BIP qu'ils sont prêts à mettre en place. Tout utilisateur de Bitcoin opérant un *full node* peut installer une version du programme implémentant n'importe quelle mise à jour qu'il pense pertinente, au risque que son programme ne puisse plus reconnaître les blocs validés par des mineurs opérant une version non-compatible de Bitcoin.

aux votes des mineurs⁶, qui signalent dans chaque bloc validé leur soutien à un ou plusieurs BIPs. Le pouvoir de vote est réparti proportionnellement à la puissance de calcul de chaque mineur, puisque la probabilité de voir son vote pris en compte est la même que celle de produire le prochain bloc valide.

Si pendant une certaine période, plus de 75 % ou 95 % des blocs contiennent un signal favorable, le BIP concerné est implanté. La blockchain Bitcoin opère donc non seulement comme une infrastructure permettant la génération et les échanges de son propre crypto-actif, le Bitcoin, mais également en tant qu'outil intégré de vote et de coordination pour soutenir sa propre gouvernance.

Néanmoins, ce modèle de gouvernance impliquant, d'un côté, la communauté Bitcoin dans son ensemble et, d'autre part, les mineurs, a montré plusieurs limites. Malgré son caractère ouvert, participatif et transparent, la gouvernance de Bitcoin se revendique plus d'une forme de méritocratie que de démocratie : les discussions informelles qui amènent à la soumission des BIPs dans la communauté, quoique ouverte à tous, confèrent un rôle majeur aux groupes de *core developers* les plus actifs et les plus influents. Plus important encore, l'adoption de certains BIPs jugés essentiels à l'évolution



technique de Bitcoin sur le long terme par la communauté se heurte parfois aux objectifs économiques de maximisation des profits liés à l'activité des mineurs.

Cette divergence s'est par exemple faite ressentir à l'été 2017 autour des différents BIPs visant à apporter plus de scalabilité⁷ pour Bitcoin. Face à une communauté réclamant la mise en œuvre de ces mises à jour pour désengorger le réseau et augmenter sa capacité, certaines « *pools* de mineurs »* redoutant, entre autres, la perte d'une partie de leurs revenus⁸ ont considérablement ralenti l'adoption des BIPs concernés.

Les divergences entre les *core developer* et les mineurs autour des enjeux de scalabilité sur Bitcoin sont d'ailleurs à l'origine de nombreux *hard forks** donnant naissance à une myriade de *altcoins** réutilisant le code et l'historique de Bitcoin, tout en implémentant des modifications à son code source.

Le caractère *open source* des technologies blockchains autorise en effet n'importe quel utilisateur soutenant une proposition minoritaire sur un protocole de créer sa propre version transformée d'une blockchain existante. Puisque l'historique d'une blockchain source est répétée dans la nouvelle au moment du *hard fork**, tout utilisateur ayant des actifs associés à ses adresses avant le schisme détient également des actifs dans la nouvelle blockchain.

C'est alors à la communauté de jouer le rôle d'arbitre en choisissant d'utiliser une blockchain, l'autre ou bien même les deux.

Les premiers usages : les blockchains comme substituts aux tiers de confiance

Alors que Bitcoin démontre rapidement sa capacité à servir de registre décentralisé, sécurisé et immuable pour de l'information financière et extra-financière, de nombreuses expérimentations pionnières visent à utiliser cette capacité pour « notarier » des documents dès les années 2010. Des entrepreneurs développent des projets et des standards où une blockchain est utilisée pour ancrer des preuves d'existence numériques uniques de documents concernant des propriétés foncières, des preuves d'identité, des certificats et des diplômes. (Voir notamment les Chapitres « Identité et propriété » et « Éducation et emploi »).

Ces cas d'usage proposent donc de substituer des registres décentralisés et ouverts aux tiers de confiance traditionnels. Exit l'État, les autorités et institutions publiques ou bien les intermédiaires privés chargés de rassembler en un seul endroit et de manière standardisée l'information générée par tout un écosystème d'acteurs pour ensuite agir comme les uniques dépositaires de l'information certifiée.

7 Vient de l'anglais « *scale* » qui signifie « échelle ». Désigne la capacité d'un produit ou service informatique à s'adapter aux fluctuations de la demande en conservant ses différentes fonctionnalités.

8 Certains mineurs, au moins à court terme, semblaient estimer bénéficier davantage de l'augmentation des frais de transactions causés par la saturation des blocs.

L'utilisation d'une blockchain permet d'ancrer des preuves cryptographiques accessibles à tous qui permettent de vérifier l'authenticité d'une déclaration ou d'un document en la possession du vérificateur, garantissant l'identité du certificateur et son horodatage.

Ces nouveaux cas d'usage ont été, dans un premier temps, explorés par des utilisateurs animés par les mêmes idéologies libertarienne ou crypto-anarchistes au cœur de Bitcoin.

Ils visent logiquement des secteurs où la confiance est faible et l'acquisition de l'information coûteuse : des environnements complexes impliquant un très grand nombre d'acteurs (suivi de chaîne logistique, commerce international, traçabilité des biens...), des tiers de confiance techniquement défaillants, frauduleux ou bien situés dans des juridictions marquées par l'instabilité politique, par un pouvoir autoritaire, illibéral et/ou un haut niveau de corruption (comme Bitland au Ghana et au Honduras ou encore BenBen au Ghana - Voir Chapitre Identité et propriété), mais aussi des marchés peu liquides où les intermédiaires profitent de leur rente informationnelle pour ériger des barrières à l'accès d'informations essentielles (par exemple le marché de la propriété intellectuelle, identité numérique...).

Les blockchains au service des tiers de confiance

Pourtant, ce sont les expérimentations portées par des tiers de confiance historiques, notamment des institutions publiques, qui permettent à ces cas d'usage de gagner en visibilité aux yeux du grand public. Ce n'est un paradoxe qu'en apparence. Pour les institutions capables de surpasser la crainte initiale induite par l'idéologie au cœur de Bitcoin et de s'entourer des compétences requises pour développer des projets pilotes, les technologies blockchains représentent une aubaine pour montrer leur capacité à innover et moderniser des processus parfois peu ou pas digitalisés.

D'autant que si une blockchain permet de garantir l'existence des preuves cryptographiques d'informations et de leurs auteurs, elle reste un système « *garbage in, garbage out*⁹ » : elle ne suffit pas à elle seule à garantir la validité des informations ancrées.

Loin de signifier la fin de tous les intermédiaires, les technologies blockchains ont donc un besoin essentiel de tiers de confiance pour importer des informations authentiques qui sont extérieures aux données générées *on-chain*^{*}.

Avec des responsabilités similaires aux *oracles*^{*}, les tiers de confiance peuvent profiter des technologies blockchains

⁹ Le biais des données, ou GIGO (*Garbage In, Garbage Out*), consiste en la prise en compte d'informations erronées ou de biais cognitifs potentiels – aussi cohérent ou utile puisse-t-elle paraître – et qui donnera des résultats inexacts.



pour procéder à l'enregistrement de données dont ils garantissent, en signant les ancrages, l'origine, mettant en jeu leur propre réputation afin de générer de la confiance autour des données certifiées. Les expérimentations visant à utiliser une blockchain comme une infrastructure transparente, immuable et sécurisée pour l'enregistrement et la consultation de données publiques sont extrêmement nombreuses et varient en complexité. L'État de Genève avait, en 2017, utilisé Ethereum pour émettre des certificats permettant de vérifier des extraits de son registre du commerce¹⁰.

En Mars 2018, la Comisión Nacional de Energía chilienne lance son portail « Energia Abierta » (Énergie Ouverte) et utilise également Ethereum pour ancrer les données publiques qui y sont publiées¹¹. La même année, plusieurs collectivités territoriales indiennes, notamment dans le Bengale-Occidental, utilisent la blockchain pour sécuriser les certificats de naissance^{12,13}, et l'une des autorités locales de New Delhi considère d'emboîter le pas avec ses propres certificats de naissance et de décès cette année¹⁴.

pionniers de la modernisation des services publics en Amérique Centrale et du Sud. En partenariat avec Unicef Innovate et l'Open Government Partnership, l'entreprise mexicaine a collaboré à la mise en place de systèmes expérimentaux utilisant la blockchain pour moderniser l'action publique de gouvernements locaux en Argentine (certification des résultats de la loterie publique dans la province du Rio Negro, financements publics pour la culture dans la municipalité de Bahía Blanca), au Costa Rica (attribution des licences de distribution d'alcool dans les localités de Quepos et de Grecia), au Brésil (certification des données des transports publics de la ville de Teresina) et au Mexique (certification des licences numériques de distribution d'alcool et de permis de construire dans la municipalité de San Nicolás).

Forte de cette expérience, l'entreprise travaille désormais à l'intégration d'une plateforme basée sur Ethereum articulant identité numérique, émission de certificats et outils de *smart city*.

10 « Rapport d'expérimentation Blockchain », Ville de Genève, consulté le 6 juillet 2022, <https://www.ge.ch/document/rapport-experimentation-blockchain>

11 « Blockchain as an Information System in Chile: The Case of Open Energy Project - Chilean's Ministry of Energy », Stefania Parieti, Ignacia Núñez, Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação; Lousada N° E39, (Jan 2021): 554-568.

12 « A 1st in Bengal, baby gets blockchained birth certificate », Udit Prasanna Mukherji, Suman Chakraborti, Times of India, December 20, 2018, <http://timesofindia.indiatimes.com/articleshow/67170551.cms>

13 « Indian State Government Will Issue Birth Certificates on a Blockchain», CCN, October 2, 2020, <https://www.ccn.com/indian-state-government-will-issue-birth-certificates-on-a-blockchain/>

14 Computer No. : 65981 Information technology department New Delhi municipal council, Palika Kendra: new delhi no. d-dfa/ January 25, 2021, <https://www.medianama.com/wp-content/uploads/2021/06/New-Delhi-Blockchain.pdf>

15 « About », OS City, retrieved July 6, 2022, <https://www.os.city/>

Ces cas d'usage ont prouvé que les tiers de confiance, en particulier les autorités publiques, peuvent utiliser les technologies blockchains afin de garantir un accès plus sécurisé et transparent à des données publiques et de faciliter l'émission et la vérification de documents officiels.

Puisque ces expérimentations permettent de limiter les risques des fraudes, de faciliter certaines démarches administratives et d'apporter plus de transparence dans l'action publique, luttant de ce fait contre la corruption, elles contribuent à la poursuite des objectifs de développement durables établis par l'ONU, en particulier les objectifs 11 – Villes et communautés durables et 16 – Paix, justice et institutions efficaces¹⁶.

Bien qu'ils reposent sur une utilisation finalement assez simple des technologies blockchains, l'utilisation de tels registres pour stocker des données publiques est toujours d'actualité, comme le montre l'annonce à l'été 2021 par l'État de Quintana Roo, au Mexique, de la signature d'un accord de collaboration entre la *startup* GenoBank.io et l'Institut public d'Innovation et de Technologie de Quintana Roo pour certifier l'authenticité

des résultats des tests COVID, dont 20 % seraient falsifiés au niveau national selon le COMED (Conseil Mexicain des Entreprises de Diagnostic médical)¹⁷. Ce projet, conçu en réaction à un scandale sanitaire causé par l'infection de plusieurs étudiants argentins en échange dans l'État mexicain après avoir été testés négatif dans un laboratoire exerçant sans autorisation officielle, promet une vérification simple et rapide, y compris à l'international, respectueuse des données personnelles des utilisateurs.

Néanmoins, le développement de cet outil, prévu pour être déployé sur la blockchain Avalanche¹⁸, pourrait bien être rattrapé par les limites d'un autre projet porté par le congrès du Quintana Roo. En effet, le parlement local a décidé de ne pas renouveler son partenariat avec cette blockchain de « troisième génération » concernant l'archivage sur Avalanche des documents législatifs, après sept mois d'utilisation¹⁹.

Le contrat à 600 000 pesos mexicains (près de 26 000 euros) signé par la précédente législature a été jugé trop coûteux pour la nouvelle, ne voyant pas l'intérêt de financer un outil « *surqualifié pour les besoins du pouvoir législatif*²⁰ »,

16 On peut également ajouter, de manière plus secondaire, les Objectifs de développement durable 10 – Inégalités réduites et 17 – Partenariats pour la réalisation des Objectifs.

17 « Quintana Roo detectará pruebas falsas de Covid-19 con blockchain de Avalanche », Cancunissimo, 8 juillet 2021, <https://cancunissimo.mx/quintana-roo-detectara-pruebas-falsas-de-covid-19-con-blockchain-de-avalanche/>

18 « Welcome to Multi-Verse », Avalanche, retrieved July 6, 2022, <https://www.avax.network/>

19 « Retiró congreso local sistema de blockchain por ser sobrecalificado para sus necesidades », Iriamna Caceres, QuintaFuerza, 11 octobre 2021, <https://quintafuerza.mx/quintana-roo/cancun/retiro-congreso-local-sistema-de-blockchain-por-ser-sobrecalificado-para-sus-necesidades>

20 « Mexico fights black market for covid tests with avalanche blockchain », Quintana Roo, June 8, 2021, <https://qroo.gob.mx/ijit/mexico-fights-black-market-covid-tests-avalanche-blockchain>



le système informatique du congrès permettant déjà un accès ouvert à toutes les données publiques, quoique sans ancrage cryptographique dans une blockchain.

L'exemple de Quintana Roo est symptomatique des limites de cette « première vague » d'expérimentations visant à moderniser les missions des tiers de confiance en utilisant des technologies blockchains pour mieux certifier des informations publiques.

En premier lieu, le manque de moyens et de volonté politique amènent souvent ces expérimentations à rester au stade de prototype. Même lorsqu'elles valident la faisabilité technique, elles sont rarement déployées par des institutions et/ou à destination des publics qui en ont le plus besoin (voir encadré).

De plus, nombreuses sont les expérimentations qui, réalisées au sein d'une seule entité chargée de l'enregistrement d'un seul type de données publiques - parfois ne représentant même pas un risque sérieux de fraude, de manque de transparence ou de déficit d'accès - pour une aire géographique et une population-cible restreinte, ont reproduit des structures de données organisées en silo, verticales et peu pratiques à l'usage. Leur valeur ajoutée est par conséquent parfois marginale, d'autant qu'elle peut se heurter à l'augmentation des frais des transactions liés à l'utilisation d'une blockchain publique, surtout si elle a

recours au mécanisme de consensus de la *Proof-of-Work**, comme c'est le cas d'Ethereum.

Côté utilisateurs, le manque d'interopérabilité ou de standardisation entre les services peut rendre l'utilisation des blockchains pour vérifier les informations certifiées laborieuses, au point d'en devenir rédhibitoire.

Pour illustrer ce point, en l'absence d'un vérificateur commun permettant de contrôler les certificats numériques de tests Covid de tous les citoyens mexicains, difficile d'imaginer qu'un utilisateur hors de l'État du Quintana Roo, sans même parler d'un garde-frontière argentin, fasse vraiment l'effort d'accéder à la preuve ancrée sur une blockchain publique pour s'assurer que le QR code présenté par un citoyen de cet État est bel et bien valide.

Si la facilité d'usage n'est pas au rendez-vous, l'utilisateur risque de préférer d'ignorer la preuve apportée par une blockchain et de revenir au processus qui lui est le plus familier : faire confiance au tiers.

Utiliser des blockchains pour sécuriser l'accès ouvert aux données publiques : un dilemme d'innovation publique

La preuve d'antériorité ne fait pas valeur de preuve

En matière financière, l'information que contient une blockchain publique se suffit à elle-même pour générer la confiance nécessaire aux interactions entre les utilisateurs de son crypto-actif. Pour des informations « extérieures » à la blockchain, l'inscription dans un registre décentralisé peut permettre d'établir une preuve d'antériorité, les propriétés cryptographiques d'une blockchain permettant au détenteur d'une information de prouver sa connaissance de l'information à un moment donné, en signant une transaction contenant l'information (ou une référence à celle-ci) qui est ensuite intégrée à un bloc validé à un moment donné.

Cependant, selon le principe du « *garbage in, garbage out* » (déchet en entrée = déchet en sortie), la validité de cette information n'est pas intrinsèquement certifiée par le système, qui ne peut que vérifier la validité mathématique de la transaction. Les tiers de confiance offrent, en plus de l'enregistrement public, une valeur ajoutée supplémentaire, la valeur de preuve, reconnue par la communauté. Par exemple, la valeur de preuve d'un acte notarié ne provient pas seulement de l'autorité conférée par le statut d'officier public du notaire, mais aussi

par sa mission de s'assurer de la bonne procédure, de la forme authentique de l'information et du consentement éclairé des parties prenantes à un acte.

Cependant, un tiers de confiance défaillant ou frauduleux pourrait enregistrer des informations erronées dans le registre. A condition qu'elle soit publique, l'utilisation d'une blockchain rend cette information publiquement visible, ce qui peut favoriser les recours de la victime d'une erreur ou d'une entrée frauduleuse, mais elle ne résout pas, à elle seule, le problème de la confiance envers les institutions.

Effet de réseau et masse critique

Un autre facteur déterminant pour qu'un service public fondé sur une blockchain puisse générer un niveau de confiance et d'autorité suffisante est l'effet de réseau. Plus le recours à un outil d'enregistrement de l'information est répandu dans une communauté, plus la réputation de l'information enregistrée et accessible via cet outil est forte.

La difficulté pour les projets à dépasser le stade du pilote et à être généralisés, par manque de ressources ou parce qu'un déploiement local ne permet pas de valider la valeur ajoutée, peut les empêcher d'atteindre une masse critique de données et d'utilisateurs nécessaire à leur succès.



Asymétrie des besoins et de l'accessibilité

Il en résulte que les services publics fondés sur des blockchains sont rarement compétitifs face aux services publics traditionnels qui bénéficient, dans les pays développés et avec des institutions libérales, d'un fort effet de réseau pour leur juridiction et d'une certaine capacité à générer de la confiance. En revanche, ces services innovants peuvent être une alternative crédible dans des pays touchés par de hauts niveaux de corruption, dont les institutions sont systématiquement défaillantes, où les systèmes d'information de l'administration sont précaires, ou encore pour les communautés ne s'inscrivant pas facilement dans une juridiction précise (personnes migrantes et réfugiées, communautés transnationales...).

Ironiquement, ces populations pour lesquelles les services publics fondés sur une blockchain sont les plus attrayants sont souvent des communautés avec le moins de ressources pour les mettre en œuvre. Les bénéficiaires qui gagneraient le plus à avoir recours à ces services sont également ceux pour lesquels les barrières à l'entrée sont les plus nombreuses et importantes.

Les blockchains pour construire des Nations sans État

Afin de dépasser ce problème des données organisées en silo et tirer véritablement profit de la structure décentralisée des technologies blockchains et de leurs protocoles de consensus, plusieurs projets ont envisagé des approches beaucoup plus transverses, avec l'ambition de construire toute une administration numérique publique fondée sur des technologies blockchains. Comme pour les services de certification, les initiatives officielles furent précédées par des projets beaucoup plus radicaux, pétris d'idéaux anarchistes ou libertariens, ayant pour idéal de construire des alternatives aux États tels que nous les connaissons.

Nombreux sont les projets de micro-nations à avoir revendiqué vouloir utiliser une blockchain publique comme infrastructure numérique de leurs révolutionnaires administrations ouvertes. Que ce soit l'adoption du Bitcoin comme monnaie officielle de la non-officielle principauté de Pontinha, le projet de création du Merit, le crypto-actif propre au Liberland, micro-nation nichée sur les rives du Danube, entre la Serbie et la Croatie, qui devait également utiliser une blockchain pour son système d'arbitrage juridique, ou les concepts d'utopies crypto-libertariennes (la nation vogante Entropy, le Floating Island Project en Polynésie, FreeSociety²¹, le projet de

²¹ « A floating Pacific island is in the works with its own government, cryptocurrency and 300 houses », Camille Bianchi, May 18, 2018, <https://www.cnbc.com/2018/05/18/floating-island-is-planned-with-government-cryptocurrency-and-houses.html>

Puertopia²², aussi appelé Sol, à Puerto Rico...), aucune de ces expérimentations ou propositions n'a égalé, en termes de visibilité, Bitnation.

Prolongeant les concepts au cœur de l'idéologie crypto-anarchiste, **Bitnation**²³ est fondé le 14 juillet 2014 par Susanne Tarkowski Tempelhof pour mettre en place un « *système de gouvernance en pair-à-pair*²⁴ » à travers lequel n'importe quel utilisateur peut devenir membre d'une communauté de citoyens virtuels sans territoire ni État.

Cette vision à la fois nourrie par l'histoire personnelle de sa fondatrice (fille d'une mère Française et d'un père Polonais vivant en Suède, elle a travaillé pendant plusieurs années dans des zones de guerre où les États-nations se sont écroulés, en Afghanistan et en Libye²⁵) et par les valeurs de Bitcoin, est rendue possible par l'émergence de la blockchain Ethereum et des premières Organisations autonomes décentralisées (DAO*).

C'est avec un ensemble de *smart-contracts** déployés sur cette blockchain d'un genre nouveau que Bitnation promet une variété de services à quiconque veut

rejoindre la première « *nation volontaire, décentralisée et sans-frontière*²⁶ ».

Les premiers services de « Gouvernance DIY²⁷ » offerts aux utilisateurs sont un outil d'identité numérique, le « Digital ID », et, logiquement, un service de notariat public leur permettant d'enregistrer des certificats de naissance, de mariage, titres de propriété et autres documents importants sur la blockchain Ethereum.

Outre les pionniers de la communauté crypto et les *digital nomads*²⁸ partageant la vision de la fondatrice du projet, Bitnation compte des *early adopters*²⁹ plus surprenants. A partir de l'automne 2015, le Bitnation Refugee Emergency Response propose en effet aux personnes migrantes et réfugiées d'obtenir un Blockchain Emergency ID ainsi qu'une carte de paiement en crypto-actifs et en monnaie fiat*, la Bitnation Bitcoin Visa Debit Card.

Ce dispositif a pour mission de faciliter leur accès aux services dans leur pays d'accueil, d'accélérer leur intégration et le rapprochement familial. Pour des personnes en situation de migration, parfois apatrides ou sans-papiers,

22 « Making a Crypto Utopia in Puerto Rico », Nellie Bowles, February 2, 2018, <https://www.nytimes.com/2018/02/02/technology/cryptocurrency-puerto-rico.html>

23 « Enter Pangea », Bitnation, retrieved July 6, 2022, <https://tse.bitnation.co/>

24 « Bitnation.co », Internet Archive, March 3, 2019, <https://web.archive.org/web/20190303234601/https://tse.bitnation.co/>

25 « La Blockchain au service des réfugiés », Audrey Bauer, Usbek&Rica, 11 août 2016, <https://usbeketrica.com/fr/article/la-blockchain-au-service-des-refugies>

26 Bitnation documents, retrieved July 7, 2022. <https://tse.bitnation.co/documents/>

27 DIY pour « *Do It Yourself* » et qui se traduit par « faites-le vous-même ».

28 Les « *digital nomads* » désigne des personnes qui adoptent un mode de vie dans lequel ils voyagent fréquemment tout en travaillant en même temps.

29 Désigne les individus les plus rapides à adopter une nouvelle technologie ou une innovation.



confrontés à des parcours administratifs longs et complexes, même une carte d'identité privée, sans valeur légale hors de sa « juridiction blockchain » mais infalsifiable, peut représenter un atout dans leur parcours d'intégration. Cette initiative sera d'ailleurs récompensée par le Grand Prix 2017 du Forum Netexplo, en partenariat avec l'UNESCO³⁰.

Mais cette reconnaissance par une branche de l'ONU n'est pas le premier contact officiel entre Bitnation et une organisation publique. En 2015, à peine un an après leurs créations mutuelles, le service de notariat sur la blockchain de Bitnation est également mis à disposition des participants au programme de e-Residency estonien. Même si l'utilisation du Bitnation Public Notary ne confère pas de valeur juridique aux documents dans la juridiction estonienne, ce partenariat permet à Bitnation d'intégrer la signature électronique estonienne pour les e-residents afin de légitimer son service et démontre la possibilité d'une collaboration entre une DAO* et un État souverain.

Grâce à ces coups d'éclat médiatiques, Bitnation, désormais immatriculé au Belize, a pu procéder, après un échec

en 2014, à deux ICOs en 2017 puis en 2018, amassant plus de 30 millions de dollars³¹. Ce tour de table a permis de lancer « Pangea », décrite dans le livre blanc publié à l'occasion comme une suite d'outils décentralisés (*smart contracts** sur Ethereum, stockage IPFS* et utilisation d'un protocole de communication en pair-à-pair dérivé de Secure Scuttlebutt³²) avec lesquels n'importe quel utilisateur ou groupe d'utilisateurs peut lancer sa propre Decentralized Borderless Voluntary Nation (DBVN), avec sa propre constitution, ses propres mécanismes de gouvernance, utilisant les services de Bitnation ou en proposant de nouveaux.

Pangea fonctionne aussi comme la strate fondamentale de ce réseau holocratique³³ de DBVN interopérables, opérant un mécanisme d'arbitrage en cas de litige dans l'exécution des services proposés ou des contrats entre les citoyens. Pangea est donc conçu pour intégrer un système de réputation algorithmique (dénommé Lucy AI) essentiel au fonctionnement de son processus « Jurisdiction as a Service », par lequel les utilisateurs ou les *smart-contracts** peuvent désigner, en cas de litige, des arbitres ayant démontré leur capacité à collaborer à travers les DBVN.

30 « The Netexplo Forum celebrated its 10th edition », UNESCO, May 5, 2020, <https://en.unesco.org/news/netexplo-forum-celebrated-its-10th-edition>

31 « Bitnation », ICOHolder, retrieved May 17, 2022, <https://icoholder.com/fr/bitnation-3557>

32 « Scuttlebutt », Scuttlebutt, retrieved July 6, 2022, <https://scuttlebutt.nz/>

33 L'holocratie (*holacracy* en Anglais), que Susanne Tarkowski Tempelhof revendique parmi ses inspirations est, [selon l'Office québécois de la langue française](#) un « mode de gouvernance qui recourt au principe d'intelligence collective et dont la structure, non hiérarchisée, se compose d'équipes reliées entre elles par des objectifs communs et détenant chacune la pleine autorité dans ses champs d'expertise. » Plus particulièrement, Bitnation défend un idéal d'holocratie constitutionnelle, où n'importe quel groupe d'individus peut se rassembler autour de valeurs et objectifs communs, adoptant une constitution pour organiser leur gouvernance interne.

Début 2018, Bitnation comptait plus de 12 000 citoyens répartis dans plus de 200 *voluntary nations*. Pourtant, depuis 2019, le code source, principalement composé de bribes de programmes disparates à l'état de preuve de concept, à l'exception d'outils de certification et d'émission de *tokens* déjà standards dans l'écosystème blockchain, n'est plus mis à jour³⁴.

Quelques rocambolesques déclarations d'anciens développeurs et contributeurs laissent à penser que le projet a toujours davantage reposé sur sa vision et sa communication que sur le développement de services décentralisés³⁵.

En l'absence de réelle mesure d'impact³⁶ et de code effectivement réutilisable, Bitnation était, selon toute vraisemblance, principalement un « *vaporware* », un produit fantôme, une nation sans état, sans frontière mais aussi sans code, sans réalité effective, comme les projets de micro nations déjà évoqués.

Il a néanmoins eu pour mérite de prouver que le concept d'organisations décentralisées permettant à des communautés transnationales de se gouverner par elles-mêmes sans État, grâce à un ensemble d'outils *open source*

34 « Bitnation », Github, retrieved May 17, 2022, <https://github.com/Bit-Nation>

35 « The Perils of Radical Co-Creation », Tristan Roberts, Medium, March 24, 2018, <https://aitheric.medium.com/the-perils-of-radical-co-creation-40fe2458281e>

36 C'est-à-dire de données mesurant non seulement l'adoption générale d'une solution, mais également celles évaluant l'utilisation effective du projet et l'impact positif - ou négatif - ainsi généré sur la vie des utilisateurs. Dans le cadre de Bitnation, les chiffres parfois conséquents, comme les plus de 500 « Nations » et plus de 5 000 « contrats notarisés», sans plus de précision sur la nature de ces communautés, de ces contrats (exécutés ou non) et des actions qu'ils ont amenés, nous en apprennent finalement assez peu sur l'utilisation réelle de la plateforme faite par les utilisateurs. Ce problème est toutefois relativement courant vis-à-vis de ce genre de projet.

37 Citons notamment [Nation3](#), [CityDAO](#) ou [CatalanDAO](#).

reposant sur des technologies de registre distribué répond, au moins en apparence, à des attentes réelles, inspirant de nombreuses autres projets³⁷, et qu'il n'est pas irréconciliable ni même incompatible avec celui des États souverains.

Fédération de services et interopérabilités des administrations sur des blockchains

Difficile d'estimer dans quelle mesure les exemples de Bitnation et des premières organisations autonomes décentralisées (DAO*) focalisées sur la gouvernance décentralisée ont pu influencer les institutions publiques dans différents pays. Toujours est-il que plusieurs États décident d'aller plus loin que la mise en œuvre d'expériences pilotes axées sur un cas d'usage unique, souvent celui de la certification de données et de documents publics (voir partie 3) pour annoncer des programmes de e-gouvernement fondés sur des technologies blockchains.

L'Estonie est souvent citée comme le pays de référence à cet égard. Le jeune État balte a profité de la relative absence d'administration publique suite à l'effondrement du bloc soviétique pour entreprendre la construction,



peu après son indépendance en 1991, d'une infrastructure informatique ambitieuse pour ses institutions, conformément à sa stratégie *Tiigrihüpe* (« bond du tigre » en Estonien) visant à connecter et éduquer sa population aux nouvelles technologies numériques.

Les mises en production d'un réseau d'échange des données transverse pour toute l'administration (X-Road) en 2001, puis d'un système d'identité numérique dès 2002, puis de vote électronique pour les citoyens dès 2007 font de l'Estonie un pionnier du gouvernement numérique³⁸.

C'est en 2008, en réaction aux cyberattaques qui ont visé les sites gouvernementaux au printemps 2007 que l'Autorité des Systèmes d'Information estonienne (RIA) commence à travailler avec l'entreprise Guardtime pour tester sa solution de Keyless Signatures Infrastructure (KSI), officiellement lancée en 2012 au sein du ministère de la Justice, pour sécuriser le registre national des successions.

Le recours à la KSI, directement intégré à l'infrastructure X-Road est rapidement étendu aux ministères des Affaires Économiques et des Communications, au ministère de la Finance, au ministère de l'Intérieur et enfin à celui des Affaires Sociales. Il aura pour objectif de sécuriser

les données judiciaires, de santé, des registres de propriété, d'entreprise ainsi que les informations du journal officiel estonien.

Cependant, il est important de noter que Guardtime a, dans un premier temps, fortement insisté pour que sa KSI ne soit pas confondue avec une blockchain. Sa technologie, antérieure même au lancement de Bitcoin, partage une structure de données faisant un usage similaire de la cryptographie. Elle permet, sur la base d'un *hash* de document, de générer une preuve d'existence, avec un *timestamp* mais aussi une signature permettant d'identifier l'auteur et l'émetteur de la requête.

Les *hashs** envoyés à la KSI sont organisés en arbres de Merkle* dont la racine est insérée dans une base de données à chaque seconde où les entrées sont liées entre elles par cryptographie, ce qui la rend immuable et non-réversible de la même manière qu'une blockchain³⁹. En revanche, elle n'en partage pas le caractère décentralisé et ouvert permis par un protocole de consensus dit « de Nakamoto » puisque ce sont les serveurs « Aggregators », propriétés de Guardtime, qui forment les arbres de Merkle et assurent le consensus dans le réseau⁴⁰.

38 « KSI Blockchain in Estonia », Estonian Government, 2020, <https://e-estonia.com/wp-content/uploads/2020mar-faq-ksi-blockchain-1-1.pdf>

39 « Blockchain Designed for Supply Chains: Guardtime Supply Chain Framework », David Shorthouse, Michael Xie, Guardtime, April 2020, <https://m.guardtime.com/files/Blockchain%20Designed%20for%20Supply%20Chains%20%282%29.pdf>

40 « Guardtime KSI Definitions and Abbreviations », Guardtime, April 2021, <https://m.guardtime.com/files/GT-KSI-DEF-v1.2-1.pdf>

C'est d'ailleurs ce caractère permissionné (voire privé puisque le consensus est centralisé au sein d'une même organisation) de la KSI qui permet à Guardtime de traiter rapidement la quantité de données générées par les services publics estoniens compatibles, sans connaître les problèmes de scalabilité des blockchains publiques.

En plus de cette différence majeure, Guardtime n'a sûrement pas voulu associer son image à la sulfureuse réputation de Bitcoin et de premiers crypto-actifs⁴¹. Ce n'est qu'à partir de 2015 que Guardtime a décidé de surfer sur l'engouement nouveau autour des technologies blockchains. A la faveur d'un changement de communication à 180 degrés, l'entreprise a commencé à revendiquer l'infrastructure KSI comme une blockchain, même si la question de la pertinence technique de cette qualification fait débat, y compris au sein des autorités publiques estoniennes⁴².

La stratégie de e-gouvernement estonienne a fortement influencé d'autres pays voulant moderniser radicalement les systèmes d'information qui soutiennent les activités du secteur public. C'est le cas notamment de l'émirat de Dubai, dont la Dubai Blockchain Strategy présentée en octobre 2016 promettait de

faire de Dubai « *la ville la plus heureuse du monde*⁴³ ». Centrée sur trois piliers –l'efficience de l'action publique, la création d'un écosystème et l'essor d'un *leadership* international en matière de blockchain – cette stratégie doit permettre de réaliser pas moins de 5,5 milliards de dirhams d'économie par an (plus de 1,3 milliards d'euros), soit l'équivalent du coût de construction du Burj Khalifa, la construction la plus haute du monde, l'un des emblèmes de la ville.

L'approche « *blockchain-first* » présentée par Mohammed bin Rashid Al Maktoum, émir de Dubai, est simple : en 2020, l'intégralité des services publics pertinents devront avoir effectué leur migration en passant du papier à des DLT. L'émirat a rapidement annoncé la mise en place d'une collaboration avec Consensys, IBM ainsi que Du, l'opérateur de télécommunications détenu par les Émirats arabes unis, pour créer le « *Blockchain Platform as a Service* » (désormais intégré à Dubai Pulse, une initiative conjointe entre Du et Smart Dubai) qui permet aux agences gouvernementales et institutions publiques de lancer de nouveaux services ou de porter les processus existants sur des blockchains permissionnées reposant au choix sur les technologies Ethereum ou Hyperledger Fabric.

41 Guardtime s'est même démarqué par un certain scepticisme envers les DLTs en général. « Guardtime », web.archive, retrieved July 21, 2022, <https://web.archive.org/web/20190831005934/https://guardtime.com/technology>

42 « There is no blockchain technology in X-Road », Petteri Kivimäki, Nordic Institute for Interoperability Solutions, April 26, 2018, <https://www.niis.org/blog/2018/4/26/there-is-no-blockchain-technology-in-the-x-roade.com/document/d/1I4BS2zBSODEFrsoKiTUymxjQsf15tJFB/edit#>

43 « Dubai Blockchain Strategy », Digital Dubai, retrieved July 21, 2022, <https://www.digitaldubai.ae/initiatives/blockchain>



Pas moins de vingt-quatre cas d'usage sont en cours d'exploration au sein des différentes institutions publiques de Dubai, parfois sous la forme de partenariats publics-privés, suivant un ensemble d'orientations, de règles et de bonnes pratiques présentées dans la *Dubai Blockchain Policy* publiée en 2019. Ils se répartissent dans huit industries : la finance, l'éducation, l'immobilier, le tourisme, le commerce, la santé, les transports publics et la sécurité⁴⁴.

On y retrouve quelques applications basiques, comme l'émission de certificats par les universités publiques, l'enregistrement des licences des praticiens spécialistes par l'Autorité de la Santé, un système de cadastre et d'hypothèques, un registre des entreprises, une « Cheque Chain » qui permet le suivi des chèques émis par la EmiratesNBD à l'aide de QR codes uniques⁴⁵. D'autres projets se distinguent néanmoins en explorant des sujets d'application plus novateurs.

La « Dubai Vehicle Chain » est un projet de service de « *carnet de santé du véhicule* »⁴⁶ porté par la Roads

and Transports Authority, ayant pour mission de créer un registre où toutes les parties prenantes du secteur de l'automobile pourraient maintenir un dossier d'information fiable et partagé, enregistrant tous les événements importants du cycle de vie de chaque véhicule dans le pays (achat, propriétaires successifs, cession, maintenance, accidents...).

Le Dubai Immigration Department testerait un registre des entrées et sorties du territoire de tous les visiteurs⁴⁷. Le système Dubai Pay, qui permet déjà aux résidents et visiteurs de payer pour l'accès à certains des *smart services* et qui est utilisé par une cinquantaine d'entités publiques ou privées, a également migré son système de recouvrement et de remboursement sur une blockchain, passant d'une moyenne de quarante-cinq jours de traitement par dossier à deux semaines, avec dans certains cas un suivi des résolutions en temps-réel⁴⁸.

Cet effort de modernisation rapide, conjugué à d'autres initiatives de modernisation de l'action publique (Dubai10X, Smart Dubai 2021, Dubai

44 « Smart Dubai turns 5 ! », Digital Dubai, Comprehensive Booklet, January 2021, https://www.digitaldubai.ae/docs/default-source/publications/sd_anniversary_booklet_5years_en.pdf?sfvrsn=818d909b_6

45 « Emirates NBD leads banking sector in cheque security by successfully rolling out 'Cheque Chain' at scale », Emirates NBD, April 15, 2018, <https://www.emiratesnbd.com/en/media-centre/media-centre-info/?mcid=en-598>

46Blockchain in the UAE government, United Arab Emirates, retrieved July 6, 2022, <https://u.ae/en/about-the-uae/digital-uae/blockchain-in-the-uae-government>

47 « Govchain », UAE, retrieved Jul 8 2022, <https://govchain.world/uae/>

48 « Emirates Blockchain Strategy 2021 », GovChain, retrieved May 17, 2022, <https://govchain.world/uae/>; Inclusive Deployment of Blockchain: Case Studies and Learnings from the United Arab Emirates », United Arab Emirates Center for the Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, January 2020, https://www3.weforum.org/docs/WEF_Inclusive_Deployment_of_Blockchain_Case_Studies_and_Learnings_from_the_United_Emirates.pdf

Paperless Strategy...), est porté par toute l'administration, au niveau local, sous le pilotage de la Dubai Future Foundation et du Digital Dubai Office. Il s'articule également, au niveau fédéral, avec la « Emirates Blockchain Strategy », dévoilée en 2018 toujours par Mohammed bin Rashid Al Maktoum, vice-président et Premier-Ministre des Émirats Arabes Unis.

Cette stratégie est similaire à celle mise en œuvre à Dubai, puisqu'elle a pour but de surfer sur le même élan et de réemployer les mêmes technologies. Elle repose sur quatre piliers : le bonheur des citoyens et résidents, l'efficacité au sein du gouvernement, l'adoption d'une législation en avance de phase et la facilitation de l'entrepreneuriat global.

Son objectif n'est qu'à peine moins ambitieux que la feuille de route pour Dubai : 50% de toutes les transactions et échanges d'information effectués au sein de l'administration devront être enregistrées sur la blockchain en 2021, pour une économie chiffrée à 11 milliards de dirhams (près de 2,65 milliards d'euros), 77 millions d'heures de travail et presque 400 millions de documents qui n'auront plus besoin d'être imprimés.

Outre les solutions élaborées dans le cadre de Smart Dubai et déployées au niveau national (comme par exemple

Abu Dhabi Pay, lancé en mai 2020⁴⁹), la Emirates Blockchain Strategy a accouché de projets originaux.

L'application d'identité numérique nationale, le UAE Pass lancée en 2018 et qui ne repose pas sur l'usage d'une blockchain, propose depuis 2021 un « *Digital vault* », un coffre-fort numérique, qui permet à l'aide d'une blockchain de stocker, signer, partager et vérifier des documents avec les institutions dans tout le pays. Selon le Ministère de la Justice, la signature de documents via l'application UAE Pass aurait même une valeur notariale⁵⁰.

Autre mise en pratique intéressante, le ministère de la Santé et de la Prévention (MOHAP) a lancé en janvier 2019, avec Dhonor Healthtech, **Hayat**, un registre national des donneurs d'organe qui a vocation à remplacer le précédent système de coordination entre les autorités de chaque émirat. Avec pour objectif d'optimiser l'allocation des greffes et de limiter le trafic d'organes, Hayat aurait déjà enregistré plusieurs milliers de donneurs à l'aide de *smart contracts** dotés d'une valeur juridique aux Émirats, facilitant leur parcours, intégrant les proches comme témoins cosignataires, ainsi que celui des patients. Le registre Hayat s'appuie à la fois sur les solutions d'identité numérique officielles et sur une intelligence artificielle chargée de prioriser les attributions de greffe.

49 « Abu Dhabi Digital Authority launches Blockchain based Abu Dhabi Pay », Unlock Media, May 5, 2020, <https://www.unlock-bc.com/news/2020-05-05/abu-dhabi-digital-authority-launches-blockchain-based-abu-dhabi-pay/>

50 « UAE Government adopts ‘blockchain’ technology in authentication services », Emirates News Service, April 19, 2021, <https://wam.ae/en/details/1395302928148>



De plus, le MOHAP espère une économie de 20 millions de dollars par an uniquement sur la diminution des besoins de dialyses⁵¹.

Par ailleurs, la mise en place par l'Autorité Digitale d'Abu Dhabi (ADDA) d'une plateforme blockchain nationale pour faciliter et standardiser les échanges de données au sein des entités gouvernementales et avec des partenaires externes souligne les logiques d'interopérabilité et de synergies au cœur de la stratégie. Cette solution, qui est expérimentée au sein d'une *sandbox*⁵² de l'ADDA depuis 2019, instaure un niveau d'abstraction « protocole-agnostique⁵³ » supplémentaire permettant aux données de circuler à travers les différents systèmes blockchain utilisés dans le secteur public.

Il est relativement difficile d'estimer avec précision les effets concrets à court terme de ces deux stratégies. Alors que le cours des années a rattrapé les horizons initialement dessinés dans chacune des stratégies, il semble qu'un écart persiste entre les très ambitieux objectifs affichés dans les discours lors des lancements et les services dont peuvent déjà bénéficier

les citoyens, résidents et visiteurs des Émirats Arabes Unis. Même si quelques services publics présentés ici sont déjà en production, beaucoup d'initiatives en sont encore au stade expérimental.

L'approche « *top-down* » résolument assumée par les autorités des Émirats a probablement permis de fixer une feuille de route commune à tout le secteur public, d'allouer des ressources conséquentes et d'assurer une certaine interopérabilité entre les services qui peuvent réutiliser les solutions développées dans d'autres entités au niveau de l'émirat de Dubaï et au niveau national, mais elle a également pu causer une désynchronisation entre la stratégie gouvernementale et la réalité technologique et organisationnelle des institutions chargées d'innover à marche forcée⁵⁴.

L'enjeu de ces stratégies dépasse néanmoins l'industrialisation des expérimentations pour le pays du Golfe. D'une part, ces grands plans auront nécessairement un effet de long terme, ne serait-ce qu'à travers les efforts d'acculturation entrepris par le gouvernement.⁵⁵

51 « Inclusive Deployment of Blockchain: Case Studies and Learnings from the United Arab Emirates », United Arab Emirates Center for the Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, January 2020, https://www3.weforum.org/docs/WEF_Inclusive_Deployment_of_Blockchain_Case_Studies_and_Learnings_from_the_United_Emirates.pdf

52 Sandbox : en français « bac à sable ». Dans le domaine informatique, un « bac à sable » consiste à créer un environnement de test isolé pour tester un programme.

53 Un niveau d'abstraction « protocole agnostique » désigne un environnement de développement blockchain indépendant de protocoles en particulier, permettant par la suite un portage plus simple selon les blockchains utilisées.

54 « Emirates Blockchain Strategy 2021 », GovChain, retrieved May 17, 2022, <https://govchain.world/uae/>

55 Le *National Programme for AI and Blockchain Capacity Building* vise, par exemple, à financer des formations pour les fonctionnaires ainsi que des programmes et des bourses universitaires.

D'autre part, l'adoption de ces stratégies relève tout autant d'une entreprise de transformation publique que d'une campagne de communication et de rayonnement pour l'État émirati afin d'asseoir sa réputation de bastion de l'innovation et des *smart cities* au Moyen-Orient, que ce soit auprès des touristes, des entreprises du numérique et des dirigeants du monde entier (*a fortiori* de ses voisins et concurrents immédiats).

Cette volonté de promouvoir les programmes d'innovation nationaux s'est faite parfois aux dépens du réalisme des objectifs affichés et au détriment de la lisibilité de l'avancement concret des projets pris individuellement. La création d'un Global Blockchain Council⁵⁶ et des investissements massifs liés à l'organisation de plusieurs conférences internationales majeures ont été annoncés pour attirer l'écosystème, capter l'attention médiatique et générer de nouvelles opportunités commerciales. A cet égard, le succès de ces opérations est déjà une réalité.

Les Émirats Arabes Unis ne sont pas les seuls à avoir lancé des projets de grande ampleur visant à expérimenter et déployer des infrastructures numériques publiques reposant sur les technologies blockchains pour moderniser son administration publique afin de faciliter l'accès à de nouveaux services publics pour les entreprises et les citoyens.

Dans le cadre de son Partenariat Européen de la Blockchain (EBP), signé le 10 avril 2018, les vingt-sept États-Membres de l'Union Européenne (à la date de la signature, Royaume-Uni compris) ainsi que la Norvège et le Liechtenstein se sont engagés à construire, ensemble, la European Blockchain Services Infrastructure, qui fait l'objet du focus de ce chapitre (voir *infra*).

Les DAOs, des laboratoires pour de nouveaux modèles de gouvernance décentralisée

Le 20 juillet 2021, Rune Christensen, l'initiateur de MakerDAO et de son crypto-actif stable* multi-collatéralisé, le Dai, dont la capitalisation a dépassé les 9 milliards d'euros en février 2022, annonce dans un billet de blog liminaire mettre un terme à la Maker Foundation. Ici, pas de scandale, pas de *fork** dramatique, pas de poursuite judiciaire.

En remettant l'intégralité de la gouvernance du protocole entre les mains de la communauté Maker organisée en DAO*, Christensen annonce « *boucler la boucle* »⁵⁷, quatre ans après le lancement de la première version de son crypto-actif stable*. Avec la suppression de la fondation, les détenteurs de MKR, le *token* de gouvernance lié au protocole, tiennent désormais en toute indépendance le gouvernail de l'un des projets-phares de la finance décentralisée (*Decentralized*

56 « Global Blockchain Council », DMCC, retrieved July 6 ,2022, <https://www.dmcc.ae/about-us/global-blockchain-council>

57 « MakerDAO Has Come Full Circle », MakerDAO, July 20, 2021 <https://blog.makerdao.com/makerdao-has-come-full-circle/>



Finance, ou DeFi* - voir Chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable »). En utilisant les processus de gouvernance bâties tout au long de l'existence de MakerDAO, ils votent pour décider du destin du projet, introduisent, discutent et adoptent les *Maker Improvement Proposals*, choisissent les crypto-actifs acceptés comme collatéraux, ajustent les ratios de collatéralisation, financent de manière décentralisée les *core units*, des équipes projet avec un budget, des mandats et des objectifs, sans aucun intermédiaire, sans aucune autorité centrale.

L'exemple de MakerDAO est édifiant et inspirant pour tout l'écosystème blockchain. Il prouve que les échecs des expérimentations comme Bitnation et l'appropriation par les institutions traditionnelles publiques et privées des DLTs n'ont pas sonné le glas pour les projets portés par des communautés blockchain rejetant la centralisation, les frontières et la dépendance à des tiers.

Au contraire, il est l'une des culminations d'un mouvement de fond qui, avec l'adoption croissante d'Ethereum et d'autres protocoles démocratisant le recours aux *smart contracts**, a remis la gouvernance décentralisée sur le devant de la scène, ouvrant le champ des possibles. La grande vague des projets financés par ICO puis l'émergence de la finance décentralisée - toutes deux

accompagnées par des hausses massives des cours des crypto-actifs qui ont attiré de nouveaux utilisateurs - ont notamment accouché d'une véritable explosion cambrienne des DAOs*.

Bien loin d'être découragés par l'expérience pionnière mais profondément traumatisante que fut TheDAO et son piratage⁵⁸, de nouveaux projets choisissent chaque jour d'organiser l'administration de leurs ressources, de régir le fonctionnement d'un ou plusieurs services et de coordonner la prise de décision au sein de leur communauté par le biais d'une organisation décentralisée et autonome.

Plutôt que de reposer directement et exclusivement sur une structure conventionnelle avec une existence juridique (entreprise, institution publique, ONG...), les DAOs* permettent à des communautés ouvertes, transnationales, anonymes ou pseudonymes, de se rassembler autour d'un ensemble de règles et de mécanismes de gouvernance inscrits sous forme d'un ou de plusieurs *smart contracts** enregistrés dans une blockchain.

Ces communautés peuvent alors prendre des décisions stratégiques impactant la vie du projet et gérer des budgets de financement en s'affranchissant autant que possible de toute autorité centrale même si beaucoup de projets font le choix de conserver, par exemple, une fondation

⁵⁸ En mai 2016, après avoir accumulé plus de l'équivalent de 150 millions de dollars, un hacker a exploité une faille dans le code pour vider ce fonds d'investissement décentralisé d'une grande partie de ses actifs, forçant même la Fondation Ethereum à un hard fork très litigieux (« The DAO (organization) », Wikipedia, retrieved July 21, 2022, [https://en.wikipedia.org/wiki/The_DAO_\(organization\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_DAO_(organization)))

dûment enregistrée dans une juridiction pour des raisons juridiques, financières et opérationnelles, comme ce fut le cas de MakerDAO pendant les premières années du projet.

De l'attribution de financement à des développeurs open source à l'adoption d'une feuille de route pour un nouveau projet, de l'identification du prochain actif à ajouter sur une place de marché décentralisée* (*Decentralized Exchange* ou *DEX**) à l'évolution de la courbe des taux du fonds de réserve d'un crypto-actif stable*, de l'ajout d'un artiste à une galerie d'œuvres numériques à la mise en vente d'une nouvelle parcelle vierge dans un metaverse, les DAOs* sont désormais l'un des piliers de ce que certains appellent déjà le « Web 3.0 », un internet décentralisé, fondé sur les technologies blockchains, où les utilisateurs pseudonymes retrouveraient propriété, liberté et souveraineté vis-à-vis des plateformes qui dominent le Web 2.0.

Elles regroupent parfois une poignée d'utilisateurs, parfois des milliers, pour des objectifs simples, comme par exemple la mutualisation des ressources d'une communauté pour participer à des enchères⁵⁹, ou extrêmement ambitieux, comme la gestion d'une ville ou même, dans la lignée de Bitnation, la constitution d'une *cloud nation*⁶⁰.

59 Plusieurs DAOs ont vu le jour comme un véhicule de financement participatif, comme pour acheter l'une des copies originales de la constitution américaine, sans succès, contrairement à l'achat du script du film *Dune* imaginé par Jodorowsky, ou encore pour lever 6,7 millions de dollars à destination de l'ONG ukrainienne Come Back Alive.

60 « Building a DAO governed Crypto City », City DAO, retrieved July 21, 2022, <https://www.citydao.io/> ; « A New Nation State on the Cloud », Nation3, retrieved July 21, 2022, <https://nation3.org/>

61 « Organizations », DeepDAO, retrieved May 17, 2022, <https://deepdao.io/organizations>

62 « 15 ways the world is transformed by DAOs », Aragon, July 6, 2021, <https://blog.aragon.org/15-ways-the-world-is-being-transformed-by-daos/#metaverses-virtual-worlds>

En juin 2022, DeepDAO recensait 4 983 DAOs* en activité, pour l'équivalent de 7,6 milliards de dollars d'actifs en gestion (la majorité de ces fonds étant concentrés dans les 183 DAOs* dont les actifs pesaient plus de un million de dollars)⁶¹. Huit mois plus tôt, au plus haut de la bulle des cryptoactifs, ce montant s'est même élevé à 13 milliards de dollars. Si la DeFi englobe la majeure partie de ces ressources, de nouvelles DAOs* étendent les principes de la gouvernance décentralisée dans une large diversité d'industries et de cas d'usage⁶².

Les DAOs* varient dans leurs implantations mais elles sont toutes des organisations décentralisées sans frontière ni juridiction, ce qui ne signifie pas pour autant qu'elles soient strictement « informelles ». Elles reposent, en effet, sur un ensemble de règles et de mécanismes obligatoires et contraignants compilés sous forme de code informatique dans des *smart contracts** enregistrés dans une blockchain de deuxième ou troisième génération (voir Introduction). Les décisions y sont le plus souvent prises via des votes de la communauté dont l'exécution des résultats est, grâce aux *smart contracts**, automatique et transparente.



Elles sont souvent articulées à des instances de discussion et des processus de coordination dits « *off-chain* », en dehors de la blockchain. A la manière des BIPs, les propositions sont souvent d'abord introduites et discutées dans des forums ou sur des réseaux sociaux plus ou moins ouverts (Twitter, Discord, Telegram...) avant d'être soumises au vote pour s'assurer de leur pertinence et faciliter la coopération au sein de la communauté.

Ce fonctionnement ouvert et collaboratif est souvent revendiqué comme démocratique et horizontal. S'il est évident que les DAOs* représentent aujourd'hui de fascinants laboratoires de modèles de gouvernance alternatifs, les variations dans les modes de scrutins établissent des distinctions fondamentales et dessinent un paysage beaucoup plus nuancé.

Puisque les DAOs* ne peuvent pas établir de « listes électorales » centralisées comme le feraient des états ayant accès à l'identité physique des votants, c'est la détention d'un crypto-actif ou le placement de ce crypto-actif dans un fonds en l'échange d'un *token* de gouvernance qui permet de prouver son appartenance à une communauté ouverte, et donc son droit à participer aux votes de la DAOs* sans nécessité de révéler son identité. Dans la plupart des cas, le poids de chaque vote dans les résultats est même pondéré en fonction de la quantité de *tokens* détenus

par chaque utilisateur. Ces votes basés sur l'enjeu (*stake-based*), permettent de garantir l'ouverture et la décentralisation du système, puisqu'un utilisateur peut acquérir des *tokens* et intégrer le processus de décision à tout moment, mais aussi de limiter certaines attaques (usurpation d'identité, bourrage d'urnes...) et de s'assurer que chaque personne participant au vote a un réel intérêt à voir le projet se développer et la valeur de ses actifs s'apprécier. *A contrario*, le coût d'une tentative de subversion du système par un acteur malveillant est d'autant plus élevé qu'il lui est nécessaire d'acquérir des *tokens* et de les utiliser d'une manière qui pourrait leur faire perdre de la valeur.

Dans les faits, ce type de gouvernance, souvent présentée comme « méritocratique », présente des biais structurels et peut rapidement dégénérer en plutocratie. Le niveau de participation dans les DAOs* est souvent limité. Les votes sont nombreux, parfois plusieurs par semaine, et les utilisateurs ne possédant qu'un petit *stake** n'ont qu'un faible intérêt à investir le temps et l'attention nécessaires à une participation régulière.

Par opposition, les « *whales* »⁶³ bénéficient d'un poids colossal dans la gouvernance d'une DAO*, surtout si, en tant que *early investors*, elles ont acquis les *tokens* à des prix très avantageux avant leur distribution ou leur mise sur le marché⁶⁴.

63 « Baleines » en français, surnom donné aux gros portefeuilles possédant une grande quantité de crypto-actifs

64 Dans le cas de Compound, les quatre adresses détentrices du plus gros stake sont des fonds d'investissement, les 5 et 6èmes appartenant aux co-fondateurs de Compound Labs, l'entreprise derrière Compound. Ils représentent à eux six, au moment de l'écriture, plus de 40% de la quantité totale des votes

Pour faire face à la « fatigue électorale » ou au « désintérêt rationnel » des petites parties prenantes, pour assurer un éventuel quorum et pour augmenter la légitimité des décisions d'une DAO*, nombreuses sont celles qui autorisent la délégation des votes⁶⁵. Ce processus permet d'augmenter la participation de la communauté, mais tend encore à renforcer le pouvoir des *whales* qui, parce qu'elles ont les ressources pour s'investir continuellement dans la gouvernance d'une ou plusieurs DAOs* et parce qu'elles sont souvent très visibles dans les forums et sur le « CryptoTwitter », sont des récipiendaires logiques pour les délégations.

Ce genre de barrières à l'entrée peut même intervenir plus en amont dans le processus de gouvernance. **Compound**, l'une des principales solutions de marché monétaire (*money market*) décentralisé dont le modèle de gouvernance a été repris par de nombreuses DAOs* (Uniswap, Radicle...) requiert que toute proposition de modification du *smart contract* soit soumise par une adresse possédant ou à laquelle ont été délégués au moins 25 000 COMP (la valeur du COMP oscille entre 150 et 30 dollars au 2^e trimestre 2022, après avoir dépassé les 800 dollars en mai 2011)⁶⁶. Cette mesure, initialement mise en place pour limiter les risques de *spam* et s'assurer que les propositions auraient un soutien minimal avant d'être

mise au vote, force d'éventuels petits acteurs à convaincre la communauté pour recevoir les délégations avant même de pouvoir soumettre une proposition au vote, ou bien de s'appuyer sur l'une des *whales* pour introduire la proposition en leur nom.

Il faut cependant noter que Compound a mis en place d'autres moyens de participer à la gouvernance, notamment la possibilité d'amorcer une proposition avec seulement 100 COMP via un *smart contract** recueillant ensuite les délégations nécessaires pour valider le plancher évoqué plus haut, ainsi que la mise en place d'une liste blanche par laquelle la communauté autorise un nombre restreint de contributeurs réguliers à proposer des évolutions sans avoir à valider les seuils de délégation évoqués plus haut.

La gouvernance décentralisée peut souffrir d'autres biais tout aussi problématiques. Les votes étant publiquement accessibles sur une blockchain, même avant la clôture d'une votation, la prise de position d'un de ces gros portefeuilles peut influencer les résultats finaux et donner une image biaisée du consensus, par exemple en décourageant totalement la participation de petits utilisateurs qui pourraient être pourtant opposés à la mesure soumise au vote. Les processus de délégation peuvent même renforcer ce biais, l'engagement du délégué ne reflétant pas forcément

disponibles.

65 Système de vote dans lequel les utilisateurs d'une blockchain votent pour des représentants chargés de valider les blocs à leur place.

66 Ce plancher s'élevait originellement à 100k COMP, avant d'être descendu à 65k en juillet 2021 puis 25k en mars 2022, le nombre d'adresses capables de sponsoriser une proposition passant de moins d'une dizaine, à une dizaine puis à une trentaine d'adresses.



l'opinion ou l'absence d'opinion des individus qu'il représente.

Un autre point critique est celui de la publicité des scrutins, qui peut faciliter l'achat de voix et la mise en place de systèmes de corruption organisés. Puisque la participation d'une adresse publique à un vote ainsi que son choix peuvent être vérifiés, n'importe qui peut proposer de récompenser certains comportements afin d'influencer sur la gouvernance d'une DAO⁶⁷.

Mieux encore : avec l'explosion de la valeur de la DeFi et les enjeux financiers grandissants impliqués dans les protocoles de gouvernance décentralisé, plusieurs plateformes comme Convex⁶⁸ ou le bien nommé Bribe ont même fait leur apparition, proposant tout simplement aux propriétaires de *tokens* de gouvernance des systèmes d'achat de votes décentralisés et automatisés⁶⁹.

Des attaques encore moins « subtiles » sont rendues possibles par certains systèmes de votes fondés sur la détention de crypto-actifs : si les *tokens* sont largement accessibles et liquides, un utilisateur extérieur à la communauté

peut très bien acheter puis revendre ou emprunter une grande quantité de tokens afin de proposer et/ou de voter une mesure favorable à son intérêt personnel, au détriment du bien à court ou long terme de la DAO* concernée⁷⁰.

Plusieurs alternatives ont néanmoins été proposées afin de rendre la participation aux DAOs* structurellement plus démocratique. Certaines DAOs* ont adopté le vote quadratique, un système où chaque électeur dispose d'un « crédit » de plusieurs voix à distribuer dans un ou plusieurs votes. Un électeur peut allouer l'intégralité de ses voix à un seul choix, mais le coût de chaque vote additionnel augmente de manière quadratique (ou inversement, le poids de chaque nouvelle voix diminue de manière quadratique).

Ce type de scrutin, tout en autorisant l'asymétrie du « *stake** » à la disposition de chaque votant, favorise donc les choix recueillant l'assentiment du plus grand nombre de participants.⁷¹

En proposant une plateforme d'investissement participatif où les contributions sont abondées par un fond selon un système de « *matching* »

67 Dans un article de juillet 2018, *On-Chain Vote Buying and the Rise of Dark DAOs*, Daian, Kell, Miers et Juels listaient déjà plusieurs raisons structurelles pour lesquelles les systèmes de votes sur des blockchain publiques peuvent permettre la mise en place de marché d'achat de votes efficaces et automatisés, directement dans une blockchain avec des *smart contracts* dédiés, ou bien *off-chain*.

68 « How it works », Convex, July 6, 2022, <https://www.convexfinance.com>

69 « Pay-to-Play Governance Builds Steam as Bribe Raises \$4M », Andrew Thurman, Coindesk, January 22, 2022, <https://www.coindesk.com/tech/2022/01/12/pay-to-play-governance-builds-steam-as-bribe-raises-4m/>

70 Justin Sun, le sulfureux fondateur de la blockchain Tron, s'est fait une spécialité de ces tentatives de subversion de la gouvernance décentralisée en exploitant les plateformes d'échange pour acquérir un *stake** important et forcer des décisions favorisant Tron et les services qui y sont construits, d'abord avec la rocambolesque affaire Steem, puis plus récemment avec MakerDAO et Compound.

71 Il faut noter que ce mode de scrutin peut faire l'objet « d'attaques Sybil ».

quadratique⁷², **Gitcoin** a permis l'allocation de l'équivalent de plus de 50 millions de dollars à destination de projets open source de « bien public » dans l'écosystème blockchain⁷³.

D'autres initiatives tentent de réconcilier le vote dans les DAOs* et les processus démocratiques en substituant la pondération des votes en fonction des actifs détenus par de nouveaux outils d'authentification. Ces alternatives au « *coin voting* » entendent empêcher les « attaques Sybil »⁷⁴ et rétablir l'égalité « un vote pour un utilisateur » en prouvant qu'une clé publique est bien liée à un unique membre de la communauté, sans pour autant dévoiler son identité.

Outre les projets de *self-sovereign identity* (SSI, voir chapitre « Identité et propriété), POAP, pour *Proof of Attendance Protocol*, permet par exemple d'attribuer aux membres un NFT selon leur activité réelle dans leur communauté, tels que des contributions au code source d'un projet, à son wiki ou à son forum, par l'organisation d'événements ou par la participation à ceux-ci. Ce type de NFT*, qui reste toutefois difficile à attribuer de manière strictement décentralisée sans système d'identification liant l'identité *off-chain* et *on-chain* (par exemple, entre un compte Github et une adresse publique sur la chaîne utilisée), peut alors servir

de droit de vote dans la DAO* sans nécessiter d'investissement financier, en complément ou en remplacement du vote par participation « *stake** ».

Dans une veine similaire, **Snapshot** (voir *infra*) et **Orange Protocol** ont annoncé un partenariat ayant pour objectif de proposer aux DAOs* de pondérer les votes de leur communauté en fonction de la réputation de chaque propriétaire de *tokens*.

La fondation **democracy.earth** veut aller encore plus loin avec son projet « *Proof of Humanity* », un système d'identité décentralisée où n'importe quel être humain peut obtenir une identité numérique unique qu'il peut ensuite faire valoir dans des communautés sur une blockchain (Voir chapitre « Identité et propriété »). Pour intégrer la liste « Sybil-résistante » de véritables êtres humains, portée par le projet, tout utilisateur doit au moins fournir un nom par lequel il est connu (ce nom n'étant pas forcément celui déclaré à l'État-civil), ainsi qu'une photo de son visage et une vidéo dans laquelle il ou elle tient un support présentant l'adresse Ethereum qui portera la « preuve d'humanité » et déclare, à visage découvert et d'une voix audible : « *I certify that I am a real human and that I am not already registered in this registry*⁷⁵ ». Une fois une caution payée, la vérification de chaque demande est assurée par la communauté, en pair-à-pair.

72 Dans un tel système, si un projet reçoit une contribution de \$100 et un autre 10 contributions de \$10, alors le premier projet recevra un abondement de \$10 de la part du fonds Gitcoin, le second de \$190.

73 « Gitcoin is the community of builders, creators, and protocols at the center of open web ecosystems », Gitcoin, retrieved May 17, 2022, <https://gitcoin.co/about>

74 La création de multiples identités numériques liées à ou contrôlées par une seule entité.

75 « Je certifie être un véritable être humain et ne pas être déjà enregistré dans le répertoire ».



Tout membre déjà authentifié peut valider la demande ou la remettre en question s'il l'estime invalide ou fausse (doublon, personne inexiste ou décédée...). En cas de validation, la caution est remboursée, et l'utilisateur bénéficie d'une clé publique attestée comme appartenant à un être humain unique, ainsi que le droit de recevoir des tokens UBI (Universal Basic Income), un système de « revenu universel » porté par *democracy.earth*. En cas de contestation, la dispute est soumise à une cour d'arbitrage également décentralisée, *via* le protocole Kleros. En cas de rejet de la demande, c'est le membre de la communauté à l'origine de la contestation qui récupère alors la caution pour le récompenser de sa vigilance.

Il est intriguant de noter que, si les défenseurs de la DeFi et du Web 3.0 considèrent les inégalités ou barrières financières, que ce soit dans les équilibres de vote mais aussi parfois pour pouvoir soumettre une proposition à la DAO*, elles sont relativement naturelles voire bénéfiques en matière de gouvernance décentralisée, puisqu'elles permettent d'aligner l'engagement des parties prenantes à la hauteur de leur « intérêt » dans le succès d'un projet, beaucoup d'efforts ont été investis pour diminuer drastiquement les barrières techniques qui pourraient effrayer les investisseurs comme les porteurs de projets.

De nombreux services comme **Tally** ou **Boardroom** proposent aux investisseurs des interfaces faciles d'utilisation pour

suivre les propositions et les votes, en cours et passés, qui ont lieu dans les principales DAO*. Avec l'augmentation des frais de transaction et donc du coût des votes *on-chain*, des solutions de consultations alternatives émergent, comme notamment **Snapshot**, qui permet à plus de 6 000 organisations d'héberger des propositions et de les voter (ou plutôt de « signaler ») *off-chain* mais de manière décentralisée, à l'aide du protocole InterPlanetary File System (IPFS*) (voir également le Chapitre Web 3.0, arts et sciences). Snapshot consulte les données sur une blockchain pour établir les « listes électorales » et pondérer le poids de chaque vote conformément au nombre de tokens détenus.

Il permet surtout aux DAOs* de tester l'opinion de leurs communautés avant de lancer un vote contraignant et coûteux sur leur infrastructure blockchain. La multiplication de services ayant pour but de faciliter la création de nouvelles DAOs* est encore plus symptomatique de cette vague de démocratisation de la gouvernance décentralisée.

Ces plateformes, elles-mêmes régies par des DAOs*, mettent à disposition de tous des outils open source qui ne nécessitent pas forcément de connaissance technique (*no-code*) et s'érigent aujourd'hui comme des standards dans l'écosystème blockchain. Ces outils permettent de générer des *smart contracts** suivant le modèle de gouvernance choisi et de les paramétrier pour administrer la vie de chaque projet.

Un petit tour d'horizon non-exhaustif de ces plateformes de lancement de DAOs* permet d'en saisir les particularités.

DAOhaus offre la possibilité à quiconque de créer sa propre DAO* sur Ethereum, Gnosis, Polygon, Arbitrum ou encore Celo, selon le standard Moloch, apparu en 2019 notamment pour administrer des fonds de manière décentralisée⁷⁶. DAOhaus propose à ses utilisateurs cinq modèles, aisément adaptables ensuite avec une demi-douzaine de paramètres. Cette simplicité d'usage a permis le lancement d'environ 2 000 DAOs* à la fin 2021, pour plus de 10 000 adresses uniques membres de ces organisations⁷⁷. Les DAOs* peuvent accéder à de nouvelles fonctionnalités *via* des plugins additionnels appelés « Boosts » qui pourront faire appel à des *smart contracts** externes *via* les « Minions⁷⁸ ».

DAOSTACK est une autre plateforme *open source* de génération de DAOs*. Son outil Alchemy permet également de créer des DAOs* en quelques clics et se distingue surtout par la possibilité d'implémenter des outils de « consensus holographique »⁷⁹ avec le *token* GEN, natif

de cette plateforme. La hiérarchisation des priorités est ainsi facilitée au sein d'une organisation, les utilisateurs de DAO* créées sur DAOSTACK peuvent parier leurs GEN sur les propositions dont l'adoption leur semble la plus probable. Ce « marché de la prédiction » appliqué à la gouvernance, directement inspiré par le concept de « futarchie »⁸⁰, aurait donc pour vertu d'agréger les intérêts divergents au sein de la communauté et de donner rapidement une plus grande visibilité aux propositions les plus consensuelles, ou tout du moins les plus susceptibles d'être soutenues par la majorité. Malgré cette fonctionnalité, DAOSTACK ne s'est jamais vraiment imposé et ne semble plus jouir d'une activité foisonnante.

Le bouillonnement autour des DAOs* est tel que certaines plateformes s'adressent principalement à un seul type de cas d'usage. Juicebox se concentre ainsi sur les DAOs* ayant pour but de servir d'outil de financement participatif. Son interface graphique attrayante donne accès à un ensemble de paramètres pour ajuster les variables économiques liées au projet et ses *tokenomics*⁸¹.

76 Moloch inclut notamment un mécanisme de protection des investisseurs minoritaires dans la DAO : le ragequit donne aux utilisateurs la possibilité de « claquer la porte » d'une DAO en cas de désaccord irréconciliable avec une décision adoptée mais pas encore implémentée, en emportant avec eux une part des fonds proportionnelle à leur poids dans la gouvernance.

77 « 2021 Year in Review », DAOhaus, retrieved May 17, 2022, <https://daohaus.club/review/>

78 « Les minions permettent à votre DAO d'appeler des contrats arbitraires, ce qui vous permet de faire de nombreuses choses comme gérer les Ethereum Name Service, collecter les NFT, gérer la trésorerie dans la DeFi, etc. ». « Minion FAQ », Minion, retrieved July 21, 2022, <https://daohaus.club/docs/users/minion-faq/>

79 « Holographic Consensus - part 1 », Matan Field, Medium, November 12, 2018, <https://medium.com/daostack/holographic-consensus-part-1-116a73ba1e1c>

80 « Futarchy: Vote Values, But Bet Beliefs », Robin Hanson, mason.gmu.edu, retrieved May 17, 2022, <http://mason.gmu.edu/~rhanson/futarchy.html>

81 *Tokenomics* : contraction de *Token* et *Economics*. Définit les règles de fonctionnement d'un token et de ses



Juicebox fait également office de répertoire pour les plus de 600 projets qui ont été créés sur cette plateforme et qui financent, en retour, grâce à des frais sur chaque retrait du trésor d'une DAO* (2,5 %), celui de la JuiceboxDAO.

De toutes ces plateformes « meta-DAOs », **Aragon** est, avec DAOhaus, la plus influente. Durant l'année 2021, plus de 1 000 DAOs* ont été créées avec Aragon (principalement sur Polygon, Ethereum ou Harmony). Fondé en 2016 avec comme mission de garantir la liberté et la souveraineté des individus et des communautés en ligne en fournissant gratuitement de nouveaux outils de coordination et de gouvernance décentralisée, Aragon se distingue par sa « suite » d'outils intégrés verticalement, pour couvrir tous les besoins de gouvernance d'une organisation fonctionnant de manière décentralisée.

Aragon Client permet de paramétrier et déployer facilement sa DAO*. Aragon Connect permet d'interfacer cette DAO* à d'autres applications. Aragon Court prend le relais en cas de blocage et propose un système d'arbitrage décentralisé pour résoudre les disputes qui auraient lieu au sein des DAOs*. Cet outil organise un réseau de « *guardians* » qui suivent un processus défini de nomination, de

variables économiques et de gouvernance.

82 Avec Govern, les DAOs peuvent choisir des acteurs comme executors, leur donnant la permission d'initier des actions (par exemple après un vote préalable off-chain sur Voice) sans passer par un vote on-chain. Ces décisions sont implémentées après un délai durant lequel les membres de la communauté peuvent contester la mesure à l'aide de Aragon Court. Cette division des pouvoirs entre des branches délibératives, exécutives et juridiques qui répondent à des contraintes économiques et techniques (explosion des coûts du gas) ainsi qu'organisationnelle (votes à répétition, même pour des mesures consensuelles) en réintroduisant des structures de gouvernance hiérarchisées qui nous sont familières est absolument fascinante.

réception et d'évaluation des litiges, pour lesquels un jury est sélectionné, débat puis vote pour émettre un arbitrage, avec la possibilité de faire appel. Plus récemment, Aragon a lancé Voice, son outil de vote *off-chain* venant concurrencer Snapshot, ainsi que Govern, un nouvel outil de création et de gestion de DAO* qui a pour but de surpasser les standards utilisés par Client avec un système de gouvernance « optimiste », beaucoup plus économique en termes de frais (gas) sur une blockchain⁸².

Enfin, Aragon a également racheté, en juillet 2021, **Vocdoni**, une *startup* catalane développant des outils de gouvernance décentralisée et de vote électronique à destination d'associations et d'organisations politiques traditionnelles. L'intégration de Vocdoni par Aragon souligne le foisonnement actuel en matière de DAOs* et la perméabilité qui existe entre les efforts de développement de la gouvernance décentralisée pour l'écosystème « Web3.0 » et ceux des institutions publiques et de la société civile.



Focus *European Blockchain Service Infrastructure (EBSI)*



Peu de projets font aussi bien la synthèse entre les dynamiques liant blockchain et démocratie, décrites dans ce chapitre que le European Blockchain Service Infrastructure (EBSI). Cette mesure-phare du Partenariat Européen de la Blockchain (*European Blockchain Partnership - EBP*) signé le 10 avril 2018 par tous les États membres de l'UE, rejoints par la Norvège et le Liechtenstein, a pour objectif de s'inscrire dans l'élan général du plan de financement Connecting Europe Facility (CEF) et de créer une infrastructure européenne fondée sur les technologies blockchains afin d'accueillir une nouvelle génération de services publics numériques paneuropéens.

L'EBSI permet de rassembler tous les États membres dans une dynamique partagée d'identification de cas d'usage communs et de proposition de solutions au service de tous les citoyens européens. Ces solutions ne se contentent pas d'être de simples « portages » de services publics sur une blockchain, dans une éventuelle dynamique de modernisation de l'existant. L'EBSI est engagée dans une démarche d'innovation, voire d'invention de services transfrontaliers reposant, certes, toujours

sur des tiers de confiance mais pour lesquels la transparence, la décentralisation, la sécurité et l'interopérabilité apportée par une blockchain est à même de renforcer la valeur ajoutée pour les citoyens.

Cette infrastructure est articulée autour de cinq principes clés : la poursuite du bien public, la mise en place d'une gouvernance partagée, la proposition et l'adoption de standards harmonisés, le développement open source ainsi que le respect du droit européen, tout particulièrement en matière de protection des données.

Le choix de l'*open source* et la volonté de créer des standards interopérables à l'échelle européenne plutôt que de laisser les administrations de chaque État membre tenter de construire de nouvelles infrastructures de manière fragmentaire, sont des facteurs essentiels pour le succès de l'EBSI. Non seulement cette démarche collaborative mutualise en partie les coûts de R&D et d'infrastructure, mais elle permet également de démultiplier l'impact potentiel des projets en facilitant le passage à l'échelle des expérimentations.

Elle rend également possible la coopération avec l'écosystème d'innovation européen, directement associé aux démarches de conception et à la création des standards, que les *startups* ont un intérêt direct à adopter pour construire de nouvelles offres capables de s'adresser au grand public européen sur cette infrastructure qui se revendique adaptée au marché (*market-friendly*).



L'EBSI, qui bénéficie au total de 38 millions d'euros d'investissements pour l'année 2021-2022⁸³, prend aujourd'hui la forme d'un réseau blockchain permissionné de 36 nœuds opérés par les institutions publiques de 23 pays signataires du Partenariat Européen de la Blockchain (*European Blockchain Partnership - EBP*), fonctionnant avec les protocoles de consensus Hyperledger Besu et Fabric (PoA). Côté écosystème, une dizaine de portefeuilles* (*wallets*) sont déjà compatibles avec l'EBSI.

L'architecture technique de l'EBSI comprend, par-dessus cette infrastructure qui assure la connexion à cette blockchain européenne et, à termes, avec d'autres réseaux blockchain interopérables, y compris publics, une couche « *chain* et stockage *off-chain* » où sont enregistrées les données chiffrées impliquées dans les cas d'usage, et une couche « *core services* » qui rassemble des API standardisés conçues pour faciliter le développement d'applications de service. Les cas d'usage appréhendés dans le cadre de l'EBSI ont comme leitmotiv de passer d'un modèle de partage de données et de vérification tout deux centralisés à un système similaire à la *self-sovereign identity*.

Plutôt que de recevoir d'un tiers de confiance un document qui doit toujours être vérifié auprès de l'émetteur, les utilisateurs d'un service de l'EBSI sollicitent

des tiers de confiance pour générer des certificats numériques vérifiables (*verifiable credentials*) qu'il conserve dans leur *wallet** et dont l'authenticité peut être confirmée par le destinataire directement via l'EBSI grâce à des techniques de chiffrement.

Ces certificats, respectent le standard global W3C et seront normalement reconnus à travers l'Europe. Ils ont le potentiel de rendre aux utilisateurs la propriété et le contrôle de leurs données personnelles qu'ils pourraient partager de manière sélective et « atomique », en ne révélant qu'un seul attribut d'identité (par exemple, le fait que l'utilisateur a plus de 18 ans), sans révéler les autres informations contenues dans le document qu'ils auraient transmis à leur interlocuteur (selon le même exemple, sans dévoiler les autres informations contenues dans une pièce d'identité, pas même la date de naissance). L'EBSI doit également permettre de diminuer les risques de fraude et les délais de vérification, surtout dans le cadre de procédures transfrontalières.

Sept cas d'usage ont été prioritairement identifiés par les membres du Partenariat Européen de la Blockchain. Une première vague d'expérimentations est consacrée aux cas de la notarisation numérique, de l'identité auto-souveraine (voir Chapitre « Identité et propriété »), de la gestion des diplômes et des certificats de formation, ainsi qu'à la mise en place d'un identifiant

⁸³ « Annex to the Commission Implementing Decision on the financing of the Digital Europe Programme and the adoption of the multiannual work programme for 2021 – 2022 », European Commision, November 10, 2021, https://ec.europa.eu/newsroom/repository/document/2021-46/C_2021_7914_1_EN_annexe_acte_autonome_cp_part1_v3_x3qnsqH6g4B4JabSGBy9UatCRC8_81099.pdf



de sécurité sociale européen unique (European Social Security Pass, ESSP). Dans un deuxième temps, les efforts seront bientôt étendus au traitement des demandes de droit d'asile, à une plateforme européenne de financement obligataire des PME et aux solutions de partage sécurisé des données (Trust Data Sharing).

En fédérant les États européens autour d'une infrastructure commune et des standards *open source*, en associant l'écosystème d'innovation à la conception de nouveaux services publics interopérables, l'EBSI constitue un exemple remarquable d'utilisation des technologies blockchains pour moderniser l'action publique et pour renforcer la confiance, non seulement entre les institutions et les citoyens, mais aussi potentiellement entre tous les acteurs du Marché Unique Numérique européen. La démarche de l'EBSI transcende les limites de la plupart des projets qui l'ont précédée en matière de blockchain et de e-gouvernement.

La vision qu'elle porte est profondément enracinée dans les valeurs européennes de transparence, de confiance, de liberté et de respect de la vie privée. Elles articule aussi avec les réglementations numériques de l'Union, tout en mobilisant des ressources au niveau national et continental. En plus de sa cohérence, l'EBSI bénéficie également de sa taille. Alors que les technologies blockchains peinent encore à se démocratiser et à pénétrer les habitudes du grand public (surtout hors des usages financiers), la

base d'utilisateurs potentielle de l'EBSI est forcément un atout : elle permet aux institutions et aux entreprises innovantes européennes de construire des services qui ont le potentiel d'atteindre rapidement une large population d'utilisateurs, tout en réduisant le coût d'entrée pour les administrations à la traîne ou dotées de budgets insuffisants pour investir dans des efforts de R&D de leur côté.

Surtout, alors que l'appareil législatif européen s'efforce de mieux réguler les géants du numérique, le déploiement de l'EBSI relève des enjeux de la souveraineté et de l'intégration européennes. Car en utilisant les technologies blockchains pour construire des services accessibles à tous les citoyens et toutes les entreprises à travers l'Europe, des services décentralisés, où les institutions publiques génèrent durablement de la confiance et organisent une gouvernance démocratique, transparente et partagée, fondée sur des valeurs européennes fortes, des services où l'utilisateur est placé au centre, est propriétaire de ses propres données et libre dans ses usages, l'EBSI propose un système qui peut renforcer la souveraineté et l'indépendance technologique de ses États tout en protégeant celles de ses citoyens.

Il est trop tôt pour dire si l'EBSI va atteindre ses objectifs, si nous utiliserons au quotidien, dans les années à venir les services qu'elle développe. Comme tous les projets d'innovation, l'EBSI implique de l'incertitude, le risque de parier sur les mauvais standards, de manquer des investissements correspondants à ses ambitions.



Le projet devra survivre aux aléas liés à sa gouvernance collaborative associant une trentaine d'États avec des politiques nationales et des contextes économiques différents, sans tomber dans une lenteur handicapante pour un écosystème aussi bouillonnant que celui des technologies blockchains.

Mais si l'EBSI réussit à fournir des services efficaces et accessibles à tous, alors ce modèle pourrait non seulement transformer les modes de vie numérique des citoyens européens, mais sa vision

et ses standards pourraient également s'exporter au-delà des frontières de l'Europe⁸⁴, contribuer à l'émergence de services publics interopérables partout dans le monde et constituer l'un des piliers sur lesquels ériger un autre Internet, plus décentralisé, plus ouvert, où les utilisateurs peuvent interagir en ligne avec des partenaires publics comme privés, tout en restant maîtres de leurs données et libres de leurs choix d'outils et de services.

⁸⁴ A la manière, par exemple, du RGPD, comme décrit par Anu Bradford dans son fameux livre *The Brussels effect*, <https://www.brusselseffect.com/>.

ENJEUX ET QUESTIONS

De l'émergence des crypto-actifs et des technologies de registre distribué comme alternatives aux tiers de confiance traditionnels jusqu'au foisonnement actuel de DAOs* et de leurs modèles de gouvernance décentralisée, des premières expérimentations étatiques essaient de mettre les technologies blockchains au service de leur digitalisation jusqu'à la mise en place d'infrastructures *open source* de grande ampleur où les institutions publiques et *startups* collaborent.

Les liens entre blockchain, e-gouvernement et démocratie dessinent une dialectique remarquable entre un écosystème d'innovation rassemblant des individus, parfois pseudonymes ou anonymes, sous la bannière transnationale (voire a-nationale) d'une entreprise, d'une DAO* ou d'un groupe informel et des États qui, avec leurs administrations historiques, sont en quête de modernisation face à la place grandissante que prennent les technologies numériques dans l'organisation de nos sociétés.

Pour comprendre en quoi cette forme de concurrence pour des systèmes de gouvernance plus horizontaux et des services publics plus transparents, plus efficaces est absolument essentielle, elle doit être replacée dans le contexte actuel.

D'une part, les GAFAM¹ et autres « Big Tech » ont accumulé des pouvoirs immenses et régissent au moins en partie nos activités numériques en s'affirmant comme les médiateurs d'une part croissante de nos rapports socio-économiques au monde.

En même temps, nos démocraties traversent une crise fondamentale, avec une érosion profonde de la confiance envers les tiers de confiance et figures d'autorité, qu'elles soient scientifiques, médiatiques et bien évidemment politiques.

D'après la méta-analyse du *Centre for the Future of Democracy*, le taux moyen d'insatisfaction envers la démocratie, mesuré dans 77 pays démocratiques, s'établit à 57,5 %².

1 GAFAM, acronyme des géants de la tech, Google (Alphabet), Apple, Facebook (Meta), Amazon et Microsoft.

2 « Global Satisfaction with democracy », Foa, R.S., Klassen, A., Slade, M., Rand, A. and R. Collins, Bennett Institute for Public Policy of the University of Cambridge, January 2020, https://www.cam.ac.uk/system/files/report2020_003.pdf



Selon le Pew Research Center, plus des deux tiers de la population des États-Unis, de l'Italie, de l'Espagne, de la Grèce, de la France, de la Belgique, de la Corée du Sud et du Japon estiment que leur système politique doit être complètement réformé ou a besoin de transformations majeures³.

Il existe donc aujourd'hui un besoin réel pour de nouvelles formes de gouvernance plus participatives, transparentes et décentralisées. Cette aspiration était déjà au cœur du terreau idéologique originel des technologies blockchains et elle se concrétise au moins partiellement dans l'effervescente émergence des DAOs* et de la myriade de systèmes de gouvernance décentralisée qu'elles adoptent. Il serait néanmoins injuste de juger du potentiel de ces nouvelles formes de gouvernance décentralisée uniquement à la lumière du très imparfait état actuel des DAOs*. Déjà parce que toutes n'ont pas pour ambition d'être démocratiques.

L'influence de la pensée libertarienne et de l'anarchocapitalisme sur l'écosystème blockchain, la création soudaine d'une quantité astronomique de valeur et la dépendance aux systèmes de vote par immobilisation (*staking**) poussent certaines DAOs* à accepter des inégalités et une centralisation ploutocratique, qui peuvent être incompatibles avec le bon exercice de la démocratie⁴.

Ensuite parce que de nombreuses voix s'élèvent aujourd'hui pour souligner ces problèmes⁵, y compris certains qui sont communs à nos démocraties constituées (financement des biens publics, lutte contre la corruption, centralisation du pouvoir politique dans les mains des plus fortunés...) et de proposer des solutions innovantes.

Enfin, ce n'est pas une injure pour la gouvernance décentralisée que de souligner son immaturité : les sociétés démocratiques sont le résultat de siècles d'expérimentations et de conflits, il est naturel que la recomposition promise par les DAOs*

3 « Citizens in Advanced Economies Want Significant Changes to Their Political Systems », Richard Wike, Janell Fetterolf, Shannon Schumacher and J.J. Moncus, [pewresearch.org](https://www.pewresearch.org/global/2021/10/21/citizens-in-advanced-economies-want-significant-changes-to-their-political-systems/), October 21, 2021, <https://www.pewresearch.org/global/2021/10/21/citizens-in-advanced-economies-want-significant-changes-to-their-political-systems/>

4 « Blockchain Technology and Decentralized Governance: The Pitfalls of a Trustless Dream », Primavera De Filippi, *Decentralized Thriving : Governance and Community on the Web 3.0*, February 19, 2020, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3524352

5 « Moving beyond coin voting governance », Vitalik Buterin, Vitalik's Buterin website, August 16, 2021, <https://vitalik.ca/general/2021/08/16/voting3.html>

ne résolvent pas instantanément tous les problèmes sur lesquels nos États butent et trébuchent.

Plutôt que d'embrasser la caricature d'un « vieux monde » soudainement bouleversé par des organisations cyberpunks, ou bien celle tout aussi peu pertinente consistant à nier l'intérêt et la nouveauté des DAOs*, il faut souligner la porosité qui existe entre ces deux univers. La gouvernance décentralisée, qui partage beaucoup de contraintes avec nos institutions publiques, représente une magnifique opportunité de remise en question, de déconstruction et de reconfiguration de nos systèmes démocratiques en crise.

Les DAOs* sont de fantastiques laboratoires pour tester des technologies qui peuvent apporter plus de résilience, de transparence et d'efficacité à nos administrations et aux services publics qu'ils doivent délivrer.

Elles permettent surtout d'expérimenter des modèles de vote et de gouvernance alternatifs, polycentriques et souverains, pour les États et surtout pour les citoyens, qui peuvent ensuite être adoptés, même éventuellement

sans infrastructure blockchain, par nos institutions (les DAOs* stimulent la recherche sur des concepts comme la démocratie liquide et le vote quadratique qui, par exemple, a été utilisé en 2019 par les sénateurs démocrates du Colorado pour préparer leur lois budgétaires⁶⁾).

Enfin, tout comme la concurrence que représente l'usage de la gouvernance décentralisée peut être le déclencheur vertueux d'un sursaut démocratique pour nos États, les DAOs* ont paradoxalement, elles aussi, beaucoup à gagner d'un tel rapprochement.

Les mécanismes de gouvernance de celles-ci reposent sur la « tokenisation » des droits des utilisateurs et de leur poids dans les organisations. Avec les logiques de maximisation du profit inhérentes aux technologies blockchains et aux principes de théorie des jeux qui sont au cœur de leurs protocoles de consensus, les DAOs* peuvent parfois dériver vers une « sur-financiarisation » de leur gouvernance.

Les logiques financières, voire spéculatives, peuvent prendre le pas sur les objectifs de décentralisation, d'horizontalité, d'indépendance

6 « Colorado Tried a New Way to Vote: Make People Pay—Quadratically », Adam Rogers, Wired, April, 16 2019, <https://www.wired.com/story/colorado-quadratic-voting-experiment/>



ou de transparence dans ces communautés, justifiant même des systèmes très défaillants qui paraîtraient injustes ou scandaleux dans des sociétés démocratiques.

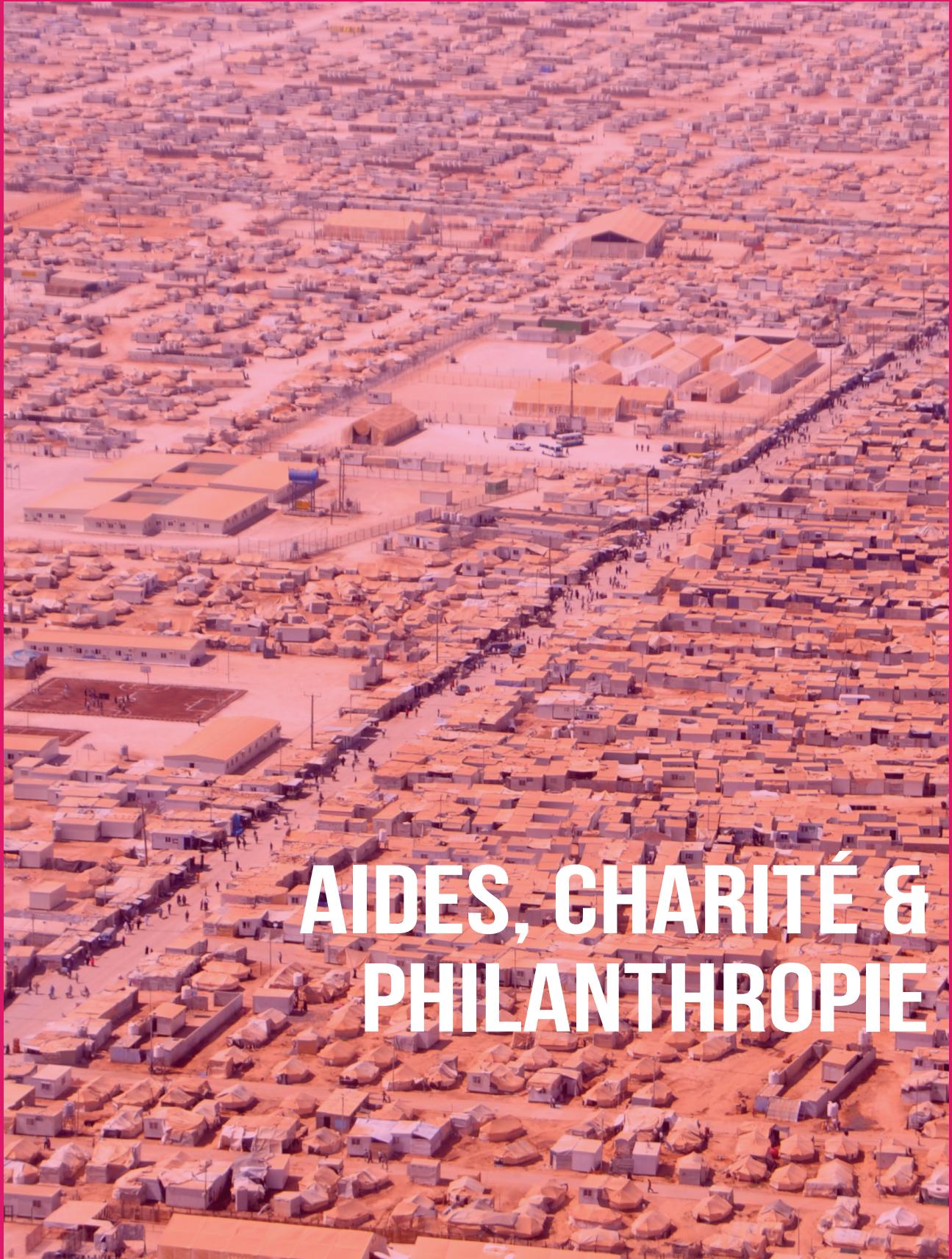
Par exemple, les marchés d'achat et de vente de droits de gouvernance comme Bribe⁷ rendent peut-être plus visibles des phénomènes de corruption qui existent bel et bien hors des écosystèmes blockchains, ils n'en restent pas moins clairement des dérives, des symptômes de risques à prendre en compte dans la conception, le développement et l'adoption de nouveaux systèmes de gouvernance décentralisée crédibles, résilients et désirables.

Les États ont ainsi des enseignements à tirer des DAOs* mais les DAOs* ont également beaucoup à gagner en s'inspirant des

processus démocratiques existants. A cet égard, une initiative comme celle de l'*European Blockchain Service Infrastructure* (EBSI) laisse entrevoir le potentiel que peut avoir le déploiement de services publics reposant sur des technologies blockchains.

Elle peut être à l'origine d'un élan de standardisation et de démocratisation de ces technologies auprès du grand public, tout en rappelant que la capacité à fournir des garanties démocratiques (accessibilité et inclusivité des services, pluralité dans la prise de décision, confidentialité des données privées...) est aussi un facteur essentiel au succès de la gouvernance décentralisée sur le long terme.

7 Bribe Protocol: <https://www.bribe.xyz/>



AIDES, CHARITÉ & PHILANTHROPIE

AIDES, CHARITÉ ET PHILANTHROPIE

Nombre de projets dans la base : 107

Nombre de projets actifs : 31

Nom des projets actifs : Aidcoin ; Alice.si ; AntLove ; Bitcoin Beach ; Bitcoin lake ; Blockchain Charity Foundation ; Brac blockchain pilotes ; Colony ; Doingud ; Engiven ; eSolidar ; Exalti ; Givecrypto ; Giveth ; GiveTrack ; Homeward ; ImpactMarket ; Little Phil ; Monerium ; NFTb ; Pinkcoin ; Popcorn network ; Promise ; REDD-Chain ; Seeds ; Social Alpha Foundation ; The Giving Block ; UnBlocked Cash by Oxfam ; Urban Array ; Venezvit ; WFP Building Blocks ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à bonjour@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

Pour les acteurs de la solidarité internationale, la promesse des blockchains est séduisante : simplifier leur bureaucratie et assurer une traçabilité des fonds jusqu'au bénéficiaire, ou déployer des mesures d'urgence lors de crises humanitaires. Au-delà de l'activité des Organisations internationales, des Organisation Non Gouvernementales et des associations, de nouvelles formes d'aides d'humanitaire sans intermédiaires entre donateurs et bénéficiaires semblent se dessiner. Plus d'une centaine initiatives blockchain ont émergé dont 33 sont actives à ce jour dans les domaines de l'aide au développement, des dons et de la charité et des crises humanitaires. Remarque importante,

le secteur de l'aide humanitaire, l'aide au développement ou encore des collectes de fonds ou collecte de dons à des initiatives blockchains sont intimement liés aux thèmes de « l'identité numérique » et des « monnaies électroniques pair-à-pair et de l'argent programmable » que nous traitons dans deux chapitres séparés.

Dès 2013, des associations à but non lucratif comme BitGive ou des startups comme AidCoin¹ ou Pinkcoin² ont approché des Organisations internationales et des Organisations non gouvernementales, dont les missions sont par nature alignées avec les Objectifs de développement durable.

¹ « Start accepting donations with 23 cryptocurrency on your website », Aidcoin, retrieved June 27, 2022, <https://www.aidcoin.com/>

² « Blockchain Based Donation Platform For Social Impact », PinkCoin, retrieved May 10, 2022, <https://pinkcoin.com/>



Par exemple, l'organisation à but non lucratif américaine The Water Project³ fournit de l'eau potable et des installations sanitaires en Afrique sub-saharienne depuis 2007. En 2014, The Water Project disposait d'un compte sur la plateforme d'échange Coinbase et acceptait les dons en bitcoins⁴, dont certains ne seront éventuellement convertis en monnaie fiat qu'en 2025⁵.

En 2015, l'UNICEF a conduit une première expérience sur la blockchain publique Bitcoin pour tester un « système d'identité immuable » et explique ainsi que « *si nous pouvions prendre la photo d'une personne, la relier à ses informations personnelles (date de naissance, nom, etc.), coder ces éléments et publier un lien cryptographiquement sécurisé vers les informations codées sur la blockchain, ce lien, parce qu'il se trouverait sur un réseau public et sans autorisation, durerait "pour toujours" et constituerait une identité immuable*⁶ ».

En 2016, l'UNICEF monte un fond de capital-risque pour investir dans les jeunes entreprises technologiques des marchés émergents⁷.

Deux ans plus tard, le fonds compte 72 investissements dans les domaines des *data science* et de l'intelligence artificielle, des blockchains et de l'Extended Reality, dont 33 dans des *startups* basées dans des pays où l'UNICEF est active⁸.

Une dizaine d'autres agences des Nations Unies ont initié, dès 2017, un certain nombre de projets blockchain menés individuellement ou collectivement, dans des domaines aussi variés que les chaînes d'approvisionnement, le paiement et le transfert d'argent en monnaie numérique, le traçage du bétail, l'identité numérique ou encore l'enregistrement des terres. Un rapport de la Joint Inspection Unit des Nations Unies qualifie ces initiatives, en 2020, « *d'opportunités sans précédent de collaboration inter-agences*⁹ » tout en mesurant l'étendue des travaux à mener pour mettre en œuvre une feuille de route transversale à toutes les agences.

Pour Thomas Davin, Directeur du Bureau de l'innovation à l'UNICEF, « *nous n'avons vu aucune autre évolution technologique avec une croissance aussi forte au cours des dernières années – ou plus de potentiel pour*

3 « You can help solve the water crisis », The Water Project, The Water Project website, retrieved May 10 2022, <https://thewaterproject.org/>.

4 « Banking on Bitcoin: Nonprofit Success Stories Start to Emerge », Megan O'Neil, July 8 2014, retrieved May 10 2022, <https://www.philanthropy.com/article/banking-on-bitcoin-nonprofit-success-stories-start-to-emerge/>

5 The Bitcoin Water Trust is an exponential growth fund for clean water. Donate any amount of bitcoin and we'll hold it until at least 2025. <https://www.charitywater.org/bitcoin#>

6 *Ibid.*

6 « UNICEF Is Investing In Tech Startups », Michael Astor, November 15, 2016. <https://www.unicef.org/innovation/stories/unicef-investing-tech-startups>

8 Programme UNICEF Venture Fund <https://www.unicef.org/innovation/venturefund>

9 « Blockchain applications in the United Nations system: towards a state of readiness », Report of the Joint Inspection Unit, Petru Dumitriu, JIU/REP/2020/7, juillet 2020.

résoudre tous les problèmes imaginables – que celle de Bitcoin, d’Ethereum et d’autres applications de la technologie blockchain¹⁰ ». Pourtant, « peu de pays se montrent favorables à l’adoption des blockchains et des crypto-actifs dans leurs systèmes¹¹ » explique Okonjo-Iweala, directrice générale de l’Organisation mondiale du commerce, parce que cela rendrait transparentes des pratiques que les bénéficiaires actuels préfèrent garder opaques.

Et si des initiatives blockchains pourraient être utilisées pour « réduire la pauvreté, renforcer l’autonomie des femmes et leur permettre d’accéder facilement aux marchés financiers », ajoute Okonjo-Iweala, le problème est, qu’à l’heure actuelle, « nous sommes encore loin de concrétiser cette vision¹² ».

Les ONG ne sont cependant pas les seules à investir l’écosystème des blockchains, et bon nombre d’organisations, startups, entreprises, fondations, partenariat public/privé ou États déploient des solutions innovantes dans les domaines de l’aide au développement, des dons et de la finance de développement.

Des initiatives à destination de population locale aidée de bénévoles,

comme à El-Zonte au Salvador depuis 2019 ou plus récemment Kiveclair à Goma en République démocratique du Congo expérimentent de « donner des satoshis¹³ pour aider et éduquer sur bitcoin ». Ces projets pédagogiques et d’aide au développement, basés sur Bitcoin, comme les initiatives plus récentes de Bitcoin Lake au Guatemala ou encore de Bitcoin Beach Brasil, donnent à voir un nouveau modèle d’aide au développement sans aucun intermédiaire entre les donateurs et les bénéficiaires.

Aide au développement

En janvier 2017, le Programme alimentaire mondial des Nations unies a lancé une preuve de concept sous le nom de Building Blocks, dans la province de Sindh, au Pakistan, visant à tester l’usage d’une blockchain pour authentifier et enregistrer une aide humanitaire vers des bénéficiaires sans plus passer par un intermédiaire financier. Le programme a ensuite été étendu « à plus de 100 000 bénéficiaires d'aide dans les camps de réfugiés syriens [en 2018], 46 000 personnes supplémentaires au Bangladesh [en 2020]¹⁴ » et été mis en œuvre à Beyrouth suite à l’explosion du port de la capitale libanaise.

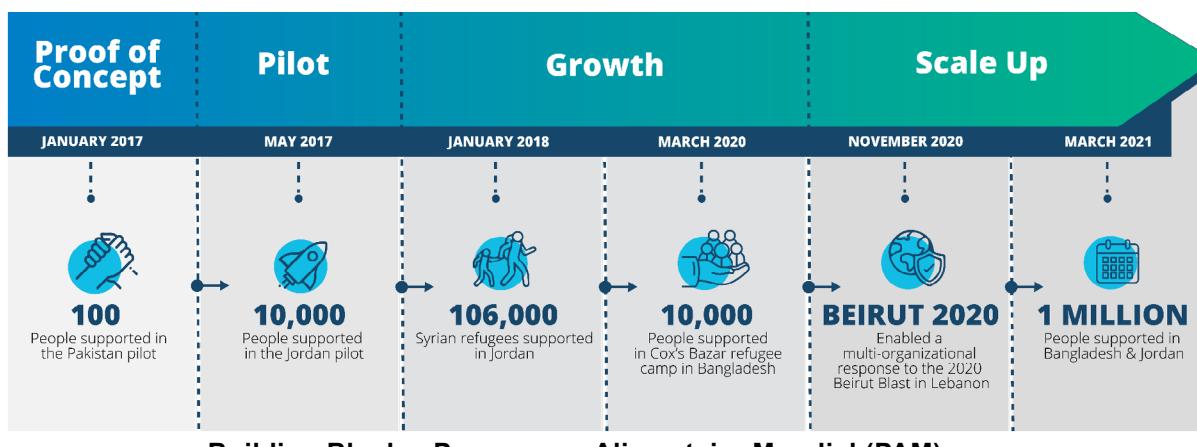
10 « UNICEF explains how Bitcoin donations help its cause », S. Malwa, April 9, 2021 <https://cryptoslate.com/exclusive-unicef-explains-how-bitcoin-donations-help-its-cause/>

11 « Blockchain can be particularly beneficial to women, says WTO Director General », Luc Jose Adjinacou, July 13, 2021, <https://www.cointribune.com/en/analysis/people/blockchain-can-be-particularly-beneficial-to-women-says-wto-director-general/>

12 *Ibid.*

13 Les mots marqués d’une astérisque font l’objet d’une entrée dans le glossaire en fin de rapport

14 « Building Blocks Blockchain network for humanitarian assistance - Graduated Project », World Food Program, retrieved May 10, 2022, <https://innovation.wfp.org/project/building-blocks>



Building Blocks, Programme Alimentaire Mondial (PAM)

Source : <https://innovation.wfp.org/project/building-blocks>

Selon le programme alimentaire mondial, plus d'un million de bénéficiaires ont reçu 304 millions de dollars d'aides humanitaires permettant d'économiser 2,4 millions de dollars de frais bancaires.

Les Nations Unies ont rapidement souhaité partager entre agences leurs retours d'expérience afin d'explorer d'autres initiatives blockchain mises en œuvre dans des contextes différents. En témoigne le programme de transfert d'argent mené, à travers la plateforme Building Block, par l'entité des Nations unies pour l'égalité des sexes et l'autonomisation des femmes, l'ONU Femmes, testée dans les camps de réfugiés de Za'atari et Azraq pour les femmes en Jordanie en juin 2019, puis dans le camp de réfugié Kakuma au Kenya en 2020.

L'objet de ce pilote a été de transférer de l'argent à deux-cents femmes inscrites

à des programmes de volontariat incitatif, également connu sous le nom de « travail contre rémunération », dans des centres « *Oasis pour la résilience et l'autonomisation des femmes* » (Oasis Centers for the Resilience and Empowerment of Women), installés dans les camps de réfugiés de Za'atari et d'Azraq, à partir de juin 2019. L'Agence des Nations Unies utilisait déjà depuis 2016 une solution basée sur la reconnaissance de l'iris pour permettre à des réfugiés en Jordanie de s'authentifier et d'acheter de la nourriture dans les supermarchés du camp.

Un transfert monétaire international « classique »

Extrait¹⁵ de : « *To what extent can blockchain help development co-operation actors meet the 2030 Agenda ?* », OECD Development Co-operation Working Papers, May 7, 2021.

15 Boiardi, P. et E. Stout (2021), « *To what extent can blockchain help development co-operation actors meet the 2030 Agenda ?* », OECD Development Co-operation Working Papers, n° 95, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/11857cb5-en>.

Dans le cadre d'un transfert monétaire classique, le Programme alimentaire mondial des Nations unies (PAM) fournit des informations (réfugiés) à l'intermédiaire financier local (souvent une banque), qui ouvre et gère ensuite les comptes bancaires des bénéficiaires. Le PAM verse alors à la banque le montant total des liquidités (pour remplir les comptes bancaires) nécessaires à l'achat de nourriture. La banque informe ensuite les réfugiés qu'un compte bancaire a été ouvert à leur nom, et leur fournit avec une carte de débit ou un e-voucher. Les réfugiés peuvent ainsi se rendre dans un magasin local et acheter de la nourriture. La banque valide les transactions, effectue le règlement avec les détaillants à la fin de chaque mois et fournit un récapitulatif des comptes au Programme alimentaire mondial.

Le pilote, d'abord étendu en 2020 à 467 femmes s'est ensuite élargi à 106 000 réfugiés dans ces camps, qui peuvent acheter des produits alimentaires après avoir scanné leur iris aux caisses des magasins. « *Grâce à ce système, les droits des participants au programme «argent contre travail» sont stockés en toute sécurité sur le nœud blockchain d'ONU Femmes. Pour accéder à leurs fonds - soit en espèces, soit pour payer des marchandises - les bénéficiaires se rendent dans les supermarchés gérés par le PAM, où un scan de l'iris les identifie et les relie à leur compte blockchain¹⁶* » explique l'agence des Nations Unies.

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Martin Lemberg-Pedersen & Eman Haioty (2020) Re-assembling the surveillable refugee body in the era of data-craving, *Citizenship Studies*, 24:5, 607-624, <https://doi.org/10.1080/13621025.2020.1784641>

D'un point de vue technique, ce programme s'appuie notamment sur une solution de reconnaissance d'iris développée par Irisguard, et mis en œuvre à travers une blockchain privée Ethereum développée par Accenture et Microsoft dans le cadre du consortium public-privé américain ID2020 et dont l'objet serait de fournir une identité à toutes les personnes n'en disposant pas. Fondée en 2001, Irisguard est une entreprise britannique qui a créé une solution de reconnaissance biométrique, basée sur le scan de l'iris.

Son premier grand contrat, en 2002, a porté sur le contrôle des frontières avec les Émirats arabes unis (EAU) pour leur permettre de distinguer les citoyens des «expulsés», à savoir les travailleurs expulsés d'Inde, du Pakistan et du Bangladesh qui tentent de rentrer aux EAU avec de nouveaux documents¹⁷.

Depuis 2013, l'entreprise travaille avec les Nations Unies dont notamment le Haut-Commissariat aux Réfugiés (HCR), le Programme Alimentaire Mondial (PAM) et des gouvernements nationaux et organisations non gouvernementales (ONG) dans le monde entier, ainsi que par un grand nombre de banques de détail au Moyen-Orient. L'entreprise a développé un système de reconnaissance de l'iris pour les personnes non bancarisées, déployé dans de nombreux contextes parmi lesquels le contrôle des frontières, des distributeurs automatiques de billets,



des points de vente en supermarché et plus récemment, dans le cadre de l'authentification d'une personne *via* une blockchain en remplaçant la clé privée par le scan d'iris. Les programmes déployés par ces agences des Nations Unies reposent sur l'utilisation d'une blockchain Ethereum privée.

Or les contractants chargés de mettre en œuvre la solution sont Accenture, Microsoft et la Cairo Amman Bank, qui ont tous les quatre perçus, entre 2014 et 2018, quelque 220 millions de dollars de contrats par l'intermédiaire des Nations-Unies pour créer ces pilotes. Pour Martin Lemberg-Pedersen, professeur adjoint spécialiste des études mondiales sur les réfugiés au département de politique et de société de l'université d'Aalborg au Danemark, « *des programmes tels que le partenariat CCF entre le HCR et la Cairo Amman Bank- IrisGuard en Jordanie et entre le HCR, le PAM et Accenture dans les camps de réfugiés de Zaatari et Azraq financiarisent les informations sur les déplacés. Ils expérimentent la conversion des données de déplacement en empreintes numériques, qui peuvent être utilisées à des fins de vérification et de transaction, et être transmises à des institutions financières*¹⁸. »

La création de systèmes informatiques propriétaires et privés, basés sur la

collecte de données biométriques, tenus par des entreprises commerciales dans un contexte réglementaire quasi-inexistant posent d'innombrables questions tenant à la vie privée des réfugiés et à leur dignité humaine.

« *En s'engageant dans ces partenariats, les organisations humanitaires comme le HCR [Haut-Commissariat des Nations unies pour les réfugiés] fonctionnent de plus en plus comme des courtiers en données accélérant l'accès des entreprises et des institutions financières à la nouvelle manne des populations déplacées dans le monde*¹⁹ » poursuit Martin Lemberg-Pedersen. Concernant l'usage de la biométrie dans le domaine humanitaire, le rapport « *Biometrics in the Humanitarian Sector* » publié en 2018 par l'Oxfam, concluait également que, sur l'usage précis des données biométriques de bénéficiaires d'aides, « *les risques potentiels pour les agences humanitaires de détenir de grandes quantités de données biométriques immuables - sur le plan légal, opérationnels, et de réputation, combinés aux risques potentiels pour les bénéficiaires - dépassent de loin les avantages potentiels dans presque tous les cas*²⁰ ».

Et les risques sont bien réels. En atteste la récente attaque dont le Comité international de la Croix-Rouge a été

18 Martin Lemberg-Pedersen & Eman Haioty (2020) Re-assembling the surveillable refugee body in the era of data-craving, *Citizenship Studies*, 24:5, 607-624, DOI: 10.1080/13621025.2020.1784641

19 *Ibid.*

20 « The Engine Room and Oxfam: Biometrics in the Humanitarian Sector », March 2018, <https://theengineroom.org>

victime en janvier 2022²¹, faisant état du vol de données de 500 000 personnes dont notamment des enfants séparés de leurs familles, des prisonniers et des réfugiés qui ont dû fuir des conflits armés ou des catastrophes naturelles. Selon le Comité international de la Croix-Rouge, « *l'impact est mondial et les données proviennent de soixante antennes nationales de la Croix rouge, un peu partout où l'ONG opère*²² ». Une autre initiative d'aide humanitaire portant sur l'assistance en espèce et en bon d'achat (Cash and Voucher Assistance) a été menée par l'Oxford Committee for Famine Relief, plus connue sous le nom d'Oxfam, une confédération d'une vingtaine d'organisations caritatives indépendantes à travers le monde. Le Cash and Voucher Assistance a totalisé 5,6 milliards de dollars en 2019, doublant les niveaux de 2016 et représentant 17,9 % de l'aide humanitaire totale²³.

L'initiative Unblocked Cash est une solution d'assistance en espèces et en bons d'achat basée sur la blockchain Ethereum et la blockchain Celo²⁴. Développée par Oxfam en partenariat avec Sempo²⁵ et ConsenSys²⁶, l'objet d'Unblocked Cash est de « permettre

une aide financière rapide, efficace et transparente pour les secours en cas de catastrophe²⁷ ». Le projet est né en 2019 au Vanuatu, un pays du sud de l'océan Pacifique composé d'environ 80 îles qui s'étendent sur 1 300 kilomètres, frappé par le cyclone tropical Harold en avril 2020 et dont les restrictions liées à la pandémie de Covid-19 ont entraîné une réduction significative des revenus et des moyens de subsistance, notamment des personnes déjà en situation de grande vulnérabilité. L'initiative UnBlocked Cash s'appuie sur trois éléments : (1) des cartes électroniques « *tap-and-pay* » fournies aux bénéficiaires, qu'ils peuvent utiliser pour acheter des biens, (2) des smartphones avec l'application Sempo préinstallée à travers laquelle les vendeurs reçoivent les paiements, (3) une plateforme en ligne de paiement sur laquelle des ONG comme Oxfam peuvent envoyer des fonds et surveiller les transactions à distance et en temps réel.

Sempo, Ethereum, Bitcoin et Celo

Sempo est une association à but non lucratif basée en Australie et cofondée par Nick Williams et Tristan Cole en juillet 2017, et dont l'objet est de « *distribuer*

21 « Sophisticated cyber-attack targets Red Cross Red Crescent data on 500,000 people », International Committee of the Red-Cross, retrieved May 10, 2022, <https://www.icrc.org/en/document/sophisticated-cyber-attack-targets-red-cross-red-crescent-data-500000-people>

22 *Ibid.*

23 « The State of the World's Cash 2020 », CALP Network, <https://www.calpnetwork.org/resources/collections/state-of-the-worlds-cash-2020/>

24 Voir Chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable », paragraphe « Paiement et micro-paiement en pair-à-pair ».

25 « Financial Inclusion for everyone », Sempo, retrieved May 10, 2022, <https://withsempo.com/>

26 « Unlock Web3 », Consensys, retrieved May 10, 2022, <https://consensys.net/>

27 « OXFAM Introduces E-Vouchers as Aid Support to Disaster Affected Communities », Adorina Massing, Vanuatu Business Review, September 28, 2020, <https://vbr.vu/news/oxfam-introduces-e-vouchers-as-aid-support-to-disaster-affected-communities/>

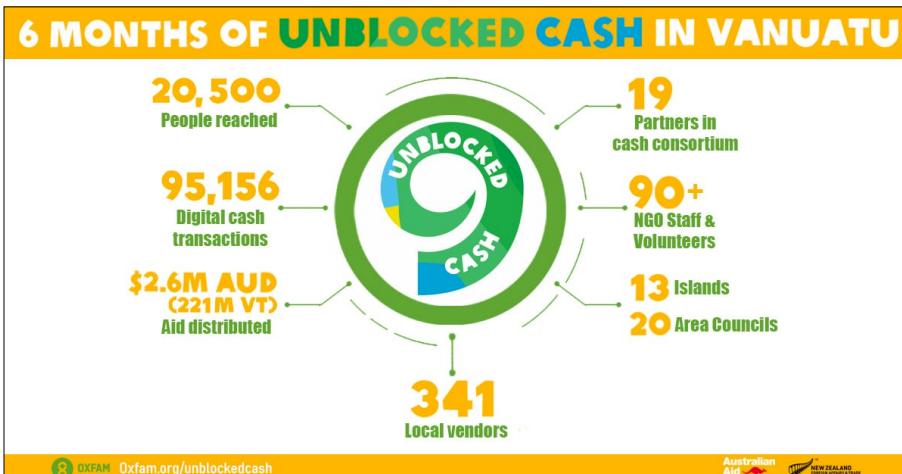


efficacement des fonds de secours aux communautés à risque à travers le monde tout en augmentant l'inclusion financière²⁸. De 2018 à 2021, Sempo s'est exclusivement appuyé sur les blockchains Ethereum et Bitcoin, qui ont cependant montré des problèmes de montée en puissance (scalabilité), que Sempo a dû résoudre en déplaçant les transactions vers plusieurs blockchains latérales (*sidechain**). Pour résoudre ces problématiques de scalabilité, Sempo a fait évoluer sa solution vers la blockchain Celo, financée par une subvention accordée par la Fondation Celo. Le projet Celo, *open source*²⁹, a débuté à l'automne 2017 avec la publication de leur livre blanc, et une version opérationnelle lancée en avril 2020. Celo se présente comme une « *blockchain mobile-first qui rend les outils et services financiers décentralisés (DeFi) accessibles à toute personne possédant un téléphone portable*³⁰ ». Le protocole blockchain Celo propose une plateforme à partir de laquelle créer des

« actifs numériques à valeur stabilisée », comme les Celo Dollars (cUSD) et les Celo Euros (cEUR), des crypto-actif stable*, qui permettent à quiconque de se les échanger rapidement, à de faibles coûts, et ce, depuis n'importe quel téléphone portable. Celo se compose des trois éléments suivants : (1) un système d'identité (2) un mécanisme de stabilité pour des monnaies à valeur stable (3) un système d'incitation et de gouvernance pour de la plateforme.

C'est une plateforme de *smart contracts** de type « *proof-of-stake** » basée sur Ethereum. Le protocole Celo est alimenté par un token natif appelé Celo Gold et tous les actifs générés à partir de Celo sont conformes à la norme ERC-20 pour faciliter la distribution de jetons via des échanges décentralisés.

Depuis son lancement en 2020, plus d'un millier de projets ont été développés sur la blockchain Celo, permettant l'émission de monnaies numériques dans une centaine de pays dans le monde.



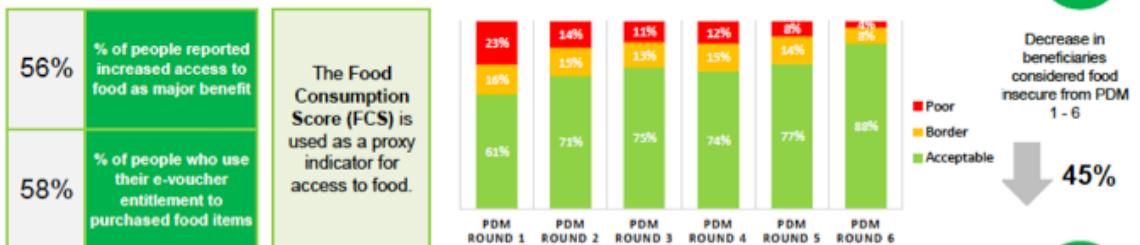
Unlocked Cash, Oxfam, Source :
<https://www.oxfam.org/fr/node/16213>

28 « Welcome to Celo », Celo, retrieved May 23, 2022, <https://docs.celo.org/>

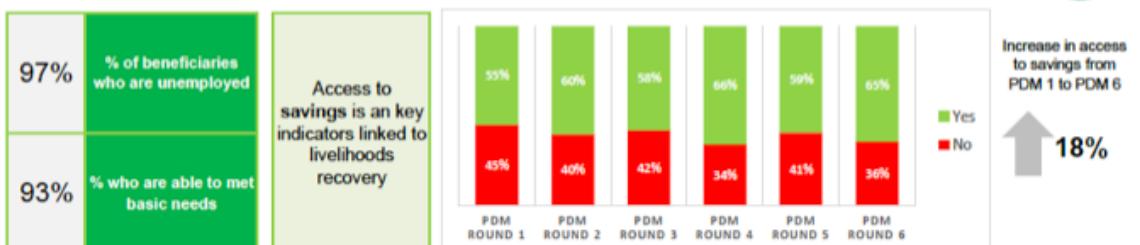
29 Celo, Github, retrieved May 23, 2022, <https://github.com/celo-org/celo-monorepo>

30 « Welcome to Celo », Celo, retrieved May 23, 2022, <https://docs.celo.org/>

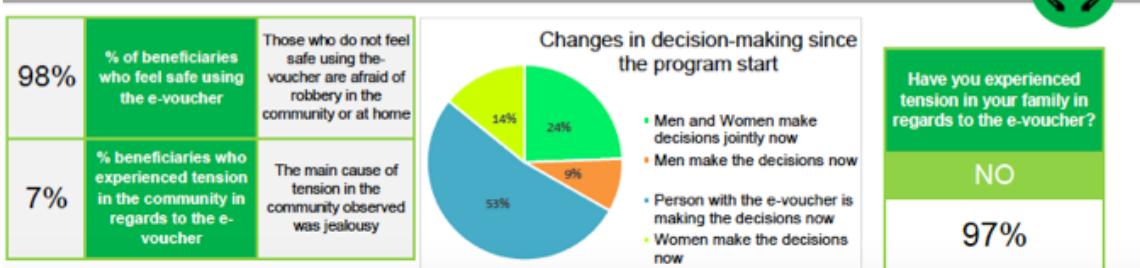
FOOD SECURITY



ACCESS TO INCOME AND SAVINGS



PROTECTION AND SAFETY (BENEFICIARIES)



Unlocked Cash, Oxfam, Source :
<https://www.oxfam.org/fr/node/16213>

L'initiative UnBlocked Cash a réuni 19 organisations différentes, des ONG internationales et locales, des entreprises du secteur privé ainsi que les antennes locales du gouvernement autour d'un même service d'assistance en espèces aux personnes les plus vulnérables.

Selon l'Oxfam, ce sont plus de 20 000 personnes vivant dans 13 îles et 20 conseils municipaux du Vanuatu, soit 13 % de la population totale des zones ciblées qui ont pu bénéficier de ce programme.

31 « Vanuatu », UN Women - Asia and the Pacific, retrieved May 10 2022, <https://asiapacific.unwomen.org/en/countries/fiji/co/vanuatu>

32 « Gender Equality and Gender-Based Violence Risk Mitigation in Cash and Voucher Assistance: Vanuatu

Dans un pays comme le Vanatu, où il n'existe aucune législation sur la discrimination à l'égard des femmes ou le harcèlement sexuel, où 60 % des femmes déclarent avoir subi des violences physiques et/ou sexuelles de la part de leur partenaire intime³¹, et où 80% d'entre elles travaillent mais ont un accès restreint à un établissement bancaire³², le projet Unblocked Cash vise également à favoriser leur autonomisation économique en les ciblant comme principales bénéficiaires de l'aide en espèces.



L’Oxfam a mis en place « une stratégie de sensibilisation complète afin de sensibiliser les membres de la communauté aux priorités de ciblage, d’accroître le soutien des hommes aux femmes en tant que principales bénéficiaires et, enfin, d’atténuer les risques de violence sexiste³³ », l’usage de coupons électroniques ayant également permis d’éviter de manipuler une aide sous la forme d’espèces.

Ce sont ainsi 3 744 familles (ménages) aidées à travers ce programme, dont 53 % de femmes. Sur les 341 vendeurs enrôlés, 82% font partie de l’économie informelle et 42 % sont des femmes. Au final, ce sont « 100 000 transactions d’une valeur de plus de 2,5 millions de dollars américains (+220 millions de vatu) dépensés auprès de ces 341 vendeurs locaux, allant des grands magasins de gros et supermarchés aux pharmacies et magasins de détail locaux, en passant par les mamans du marché et les conducteurs de bateaux³⁴ ».

Selon l’Oxfam, les ONG ont toujours rencontré beaucoup de difficultés à inclure les vendeurs de l’économie informelle dans ce type de programmes, notamment « en raison des contraintes

opérationnelles et financières qui rendaient le processus de paiement trop long et non viable pour les petits vendeurs ».

Traçabilité de bout en bout de l’aide au développement

L’un des grands défis de l’aide au développement concerne également la multiplicité des donateurs, la diversité des canaux à travers lesquels des flux financiers sont envoyés, et la redondance des coûts de transactions et l'impossibilité (ou la volonté) pour les institutions du pays aidés de suivre l’emploi des fonds. Selon un rapport de l’OCDE publié en 2021, « *parfois, la trésorerie du pays partenaire peut même ne pas connaître l’état d’un décaissement ou l’argent qui entre, ce qui compromet le processus de planification du budget d’investissement national*³⁵ ».

C’est en partant de ce constat que la KfW Entwicklungsbank, la banque de développement allemande développe **TruBudget**, pour Trusted Budget Expenditure Regime, une application *open source* afin d’« *accroître l’efficacité et la traçabilité des fonds en offrant aux États membres et aux donateurs*

Case study », Maja Tønning, Key Aid Consulting CARE, December 16, 2022, <https://www.calpnetwork.org/publication/gender-equality-and-gender-based-violence-risk-mitigation-in-cash-and-voucher-assistance-vanuatu-case-study/>

33 « UnBlocked Cash — designing for gender equality », Oxfam UnBlocked Cash, February 17, 2021, <https://medium.com/unblockdcash/unblocked-cash-designing-for-gender-equality-857276ef3195>

34 « Lessons from Vanuatu— half a year of delivering relief aid on blockchain », Oxfam UnBlocked Cash, May 31, 2021, <https://medium.com/unblockdcash/lessons-from-vanuatu-half-a-year-of-delivering-relief-aid-on-blockchain-ec326f81c688>

35 Boardi, P. et E. Stout (2021), « To what extent can blockchain help development co-operation actors meet the 2030 Agenda ? », OECD Development Co-operation Working Papers, n° 95, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/11857cb5-en>.

davantage de transparence dans l'allocation des ressources³⁶ ».

TruBudget est une blockchain privée fonctionnant sur Multichain³⁷, un framework blockchain à destination des entreprises. Le logiciel permet de consigner les processus de financement et de dépenses correspondants aux projets mis en œuvre. L'intérêt d'utiliser un registre distribué serait d'augmenter l'efficacité dans la gestion des finances publiques du pays qui reçoit une aide au développement et de rendre transparent l'usage de ces fonds.

Un pilote a été financé par le ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ) en 2018 au Burkina Faso. Le gouvernement burkinabé développe ainsi sa propre version de TruBudget appelée SIGFE (Système d'Information de Gestion des Fonds Extérieurs) pour gérer les projets financés par les donateurs.

En Éthiopie, TruBudget est utilisé pour gérer conjointement des projets financés par la KfW dans le domaine de l'enseignement supérieur. D'autres pilotes sont encore à un stade de préparation : par exemple la Tunisie développe à partir de TruBuget la Caisse des Prêts et de Soutien des Collectivités Locales CPSCL, avec Smart Africa et

l'Alliance du vaccin, Gavi, porté par Fondation Bill et Melinda Gates.

La banque de développement brésilienne BNDES a également testé en 2018 le dispositif pour gérer une partie du Fonds amazonien, notamment en provenance des particuliers, mais le projet a été pour l'instant suspendu.

Si le logiciel TruBudget est *open source*, il est déployé sur une blockchain privée où chaque partie prenante reçoit des droits correspondant à sa fonction et à son rôle dans le projet, permettant ainsi de suivre toutes les étapes de passation de contrats et de marchés, ainsi que le déblocage des paiements dans des délais réduits.

Dans la même veine, **Amply**³⁸, mené avec l'UNICEF et le gouvernement d'Afrique du Sud a consisté à numériser la gestion d'un programme d'éducation d'Afrique du Sud en enregistrant sur la blockchain Ethereum la fréquentation à l'école maternelle d'enfants défavorisés et en émettant des token comme preuve d'impact en échange de subventions gouvernementales (voir Chapitre « Monnaie électronique P2P & argent programmable pour plus de détail).

36 « A blockchain-based workflow tool for an efficient and transparent project management », TruBudget, retrieved May 10, 2022, <https://openkfw.github.io/trubudget-website/>

37 « Recent Q&A », Multichain, retrieved May 10, 2022, <https://www.multichain.com/qa/> & « Getting Started », TruBudget, retrieved May 10, 2022, <https://openkfw.github.io/trubudget-website/docs/README>

38 « Impact Tokens: A blockchain-based solution for impact investing », David Uzsoki, Patrick Guerda, International Institute for Sustainable Development | IISD.org, <https://www.iisd.org/system/files/publications/impact-tokens.pdf>



Don et charité

Don sans commission, don sans intermédiaire, traçabilité des dons, ONG acceptant des dons en crypto-actifs ou encore financement de dons via des jetons non fongibles (NFT*), de nombreuses entités renouvellent le secteur de la philanthropie et de la charité. La vague des tokens non fongibles (NFT*) depuis 2020 a également servi à financer des projets sociaux et environnementaux.

Nous en présentons plusieurs dans le chapitre « Contenus numériques et Arts ». Les principales préoccupations en matière de dons caritatifs, lorsqu'ils passent par un intermédiaire, sont les frais administratifs, les frais de transaction prélevés sur les dons, la corruption potentielle des intermédiaires qui gèrent les fonds et les services, et la difficulté des Organisations à but non lucratif et autres ONG à suivre la manière dont l'argent est réellement dépensée.

Organisations autonomes décentralisées (DAO*)

Fondée en 2016 à Barcelone en Espagne par Griff Green, Jordi Baylina et quelques autres membres du White Hat Group³⁹, rejoint en fin d'année par Vojtech Simetka et Grace Torrellas, **Giveth** est une plateforme *open source* créée sur la blockchain Ethereum dont l'objet est « *d'éliminer la bureaucratie* »

et de permettre aux organisations à but non lucratif de créer un haut niveau de transparence et de responsabilité envers les donateurs⁴⁰ ».

Giveth.io est actuellement déployé sur le réseau Ethereum et le réseau xDai (voir Chapitre Finance Maker DAO). En 2017, une première version de l'application décentralisée de don (DApp) est lancée sur le réseau principal d'Ethereum et a été repensée et relancée en 2021. La DAO* de Giveth est une organisation autonome décentralisée* qui réunit, des donateurs, des responsables de la communauté, des directeurs de campagne, des vérificateurs de campagne, des gestionnaires et des vérificateurs, et des destinataires, c'est-à-dire ceux qui reçoivent les fonds.

La plateforme Giveth met en relation des porteurs de projets d'utilité sociale, les destinataires de fonds avec des donateurs. En mai 2022, la plateforme compte environ 1 500 projets⁴¹, chacun présentant ses objectifs, une section pour les mises à jour et un récapitulatif des dons, indiquant le montant total donné au projet et une liste des donateurs. Pour l'instant, les dons ne peuvent être effectués qu'en utilisant des crypto-actifs (xDAI ou Ethereum) même si un paiement en carte de crédit semble être en cours d'implémentation.

39 « We spoke to the vigilante hackers who stole \$85 million in ether to save it », Jack Morse, Mashable, July 26, 2017, <https://mashable.com/article/ethereum-stolen-white-hat-group-rescued#ZPTC98wSEPOp>

40 « Giveth », LinkedIn, retrieved May 10 2022, <https://www.linkedin.com/company/givethio/about/>

41 GivEth : <https://giveth.io/>, consulté le 12 mai 2022.

La totalité des fonds collectés par un porteur de projet lui revient, et les donateurs ne sont pas non plus assujettis à une commission de la plateforme. Les seuls frais concernent ceux de la blockchain Ethereum lors de mouvements de fonds. La DAO* de Giveth est ainsi entièrement financée par des dons.

En 2021, la communauté a lancé plusieurs services dont l'objectif est de créer « une économie qui appartient et est gouvernée par ceux qui donnent⁴² ». Lancée le 24 décembre 2021, cette GIveconomy reposant sur le jeton GIV s'articule autour de cinq axes :

- GIVbacks : Un programme qui récompense en jeton GIV les personnes ayant effectué des dons aux projets vérifiés sur Giveth. GIV sert également de jeton de gouvernance de la plateforme.
- GIVfarm : Récompenses pour les fournisseurs de liquidités et les stakers qui soutiennent le jeton GIV.
- GIVgarden : La plateforme de gouvernance décentralisée de la GIveconomy, où les détenteurs de GIV peuvent voter sur les propositions demandant un financement à la DAO*. GIVgarden repose 1Hive (<https://gardens.1hive.org/>) qui repose sur quatre composantes : (1) le vote de conviction pour la gestion des fonds. En janvier 2022, la réserve commune, la quantité de jetons disponibles pour les propositions de financement s'élève à 32 millions de GIV, l'équivalent de 15 millions de dollars. (2) Une application de vote sur la DAO*, appelée TAO voting, qui permet l'exécution des décisions sur la blockchain ((3) un Pacte, qui définit les normes de comportement de la communauté sur la chaîne et hors chaîne et enfin, (4) Celeste, un tribunal décentralisé chargé de régler les différends au sein de la DAO*.
- GIVstream : Un flux continu de GIV qui fournit un pouvoir de gouvernance croissant aux participants de la GIveconomy au fur et à mesure que celle-ci se développe, jusqu'au 23 décembre 2026.
- GIVdrop : Une distribution aux anciens participants et sympathisants de Giveth, conçue pour relancer l'économie avec des sympathisants alignés sur les valeurs.

Un milliard de jetons GIV ont été émis lors du lancement de la GIveconomy. 100 millions de jetons GIV sont d'ores-et-déjà liquides, et les 900 millions restants seront alloués au GIVstream et libérés progressivement sur une période de cinq ans jusqu'au 23 décembre 2026.

⁴² « Welcome to the GIveconomy », Lauren, December 24, 2021, retrieved May 23, 2022, <https://medium.com/giveth/welcome-to-the-giveconomy-b3e372da63dd>



L'initiative de Giveth est complexe à première vue. Elle allie une Organisation autonome décentralisée, des *smart contracts*, une plateforme de financement participatif. Elle relève cependant ce défi de mettre en relation des porteurs de projets d'utilité sociale avec des donateurs, sans prendre de commission, et de gérer le fonctionnement d'une organisation autonome décentralisée selon un format totalement inédit. Il s'agit d'impliquer des donateurs, rémunérés en jeton GIV, dont le placement génère de nouveau jetons en récompenses, l'objectif étant de les associer à un écosystème différent de celui qui existe aujourd'hui et qui consiste à faire un don à une association sans suivi ni retour quant à l'utilisation des fonds.

Dons sans intermédiaire

Cette désintermédiation est également une composante majeure du projet **Kiveclair** qui donne à voir un nouveau modèle d'aide au développement, basé sur le don, en utilisant un canal Lightning Network (voir encadré) sur Bitcoin pour collecter des fonds et les envoyer directement auprès des bénéficiaires. L'histoire de Kiveclair commence après les coulées de lave du volcan Nyiragongo, près de la ville de Goma, dans l'Est de la République démocratique du Congo (RDC) soit entré en activité en mai 2021, provoquant un mouvement de panique dans la ville. En octobre 2021, des milliers de sinistrés du volcan vivent ainsi dans des camps de fortune.

Lightning Network

Le réseau Lightning est un protocole de paiement de pair-à-pair, construit comme application de deuxième couche sur la blockchain publique Bitcoin. Il est décrit pour la première fois dans un livre blanc par Joseph Poon et Thaddeus Dryja en 2015. Cette application de deuxième couche, construite au-dessus de la blockchain Bitcoin, permet à deux ou plusieurs personnes d'échanger directement des bitcoins en se passant de confirmation de transactions. Ces transactions en bitcoins sont effectuées hors-chaîne (off chain*), c'est-à-dire qu'elles ne sont pas enregistrées sur la blockchain Bitcoin. Elles sont donc très rapides, ne sont assortis quasiment d'aucun frais et permettent également de manipuler de très petites sommes d'argent, à l'échelle d'un satoshi*. Les personnes utilisant un réseau Lightning pourront opérer autant de transactions qu'elles le souhaitent. Elles peuvent décider de fermer ce canal de paiement et le solde final que chaque personne a dans son portefeuille est alors enregistré sur la blockchain bitcoin. (Pour plus de détails, voir le chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable - Paiement et micro-paiement en pair-à-pair»).

Le 9 octobre 2021, Gloire Wanzavelere, l'un des quatre collaborateurs du média africain Chainglob basé à Goma dans la région du Kivu en République démocratique du Congo lance une torche Lightning sur Twitter dont le principe est le suivant : « *Celui qui veut la torche peut la demander sur Twitter au dernier qui l'a reçue (qui ne la confiera qu'à une relation de confiance). Chaque participant ajoute des satoshis* (le montant qu'il souhaite) et transmet au suivant, via le Lightning Network, l'ensemble de ce qui a été récolté⁴³* ».

Cette première torche Lightning leur a permis de collecter près de 3 millions de Satoshi* et de venir en aide et former à Bitcoin une douzaine de personnes⁴⁴.

Forte de cette expérience, la petite équipe a créé dans la foulée le projet Kiveclair, avec le soutien technique et logistique du Cercle du Coin, Indenodes, Nodl et JohnOnchain, et dont l'objectif est « *de venir en aide à une cinquantaine de familles en satoshi et les former à l'utilisation de Bitcoin⁴⁵* ».

Il s'agit d'une campagne de collecte de fonds en ligne, en satoshis ou en Bitcoin, dont le premier palier,

fixé à 25 000 dollars⁴⁶, permettra d'équiper les bénéficiaires d'un téléphone portable sur lequel est installé un portefeuille Bitcoin/ réseau Lightning à partir duquel chacun recevra deux fois par mois, pendant six mois, un don d'environ 25 USD en Satoshi*. Les bénéficiaires, des personnes sinistrées du volcan et d'autres populations marginalisées comme les pygmées participeront en outre à une formation leur permettant d'apprendre à utiliser ce portefeuille.

Les bitcoins/Satoshis ne seront pas convertibles en monnaie locale, l'idée étant de les faire circuler dans l'économie locale à travers des commerces, acceptant les paiements en bitcoin, également accompagnés par Kiveclair.

L'intérêt d'un tel projet, à l'image de l'initiative Bitcoin Beach au Salvador⁴⁷ dont ils se sont inspirés, est d'expérimenter l'usage du Bitcoin à la fois comme véhicule financier d'aide aux sinistrés, sans intermédiaire entre les donateurs et les bénéficiaires, et comme instrument d'inclusion financière, par un accompagnement pédagogique et technique au niveau local.

43 « La torche Lightning destinée aux sinistrés de l'éruption du volcan Nyiragongo est arrivée à destination », Jean Luc, 25 Octobre 2021, Bitcoin.fr, <https://bitcoin.fr/la-torche-lightning-destinee-aux-sinistres-de-leruption-du-volcan-nyiragongo-est-arrivee-a-destination/>

44 « Aide via lightning : partager l'amour et la pilule orange », Gloire Wanzavelere, Chainglob, 9 décembre 2021, <https://chainglob.com/aide-via-lightning-partager-lamour-et-la-pilule-orange/>

45 « Kiveclair : promouvoir le bitcoin par l'aide et l'éducation », Gloire Wanzavelere, Chainglob, 26 décembre 2021, <https://chainglob.com/kiveclair-promouvoir-le-bitcoin-par-laide-et-leducation/>

46 « Kiveclair, Stage 0 - Help 50 People », retrieved May 2022, <https://volcan.cust.nodl.cloud/btcpay/apps/25h57gEov2ZXJELV7THDUoLsSnwc/crowdfund>

47 « Bitcoin Banking for Communities: Lessons Learned from Bitcoin Beach », Andrew, November 10, 2021, <https://galoy.io/bitcoin-banking-for-communities-lessons-learned-from-el-zonte/>



L'initiative de Bitcoin Beach au Salvador, débutée en 2019, a suscité l'intérêt du gouvernement salvadorien au point d'en faire une monnaie légale, le 7 septembre 2021, au même titre que le dollar américain.

Les dons en crypto-actifs vers des ONG

De nombreuses grandes organisations caritatives et agences d'aide internationale se sont mises à accepter les donations en crypto-actifs. Dès novembre 2013, **BitGive**, une association à but non lucratif 501(c)(3) immatriculée en Californie aux Etats-Unis et fondée par Connie Gallippi a lancé l'une des premières campagnes caritatives, en faveur de Save the Children, une ONG créée à Londres en 1919 et qui se présente comme « *le plus grand mouvement mondial indépendant œuvrant pour les enfants*⁴⁸ ».

Il s'agissait alors de lever des fonds en crypto-actifs pour aider aux victimes du typhon Haiyan ayant sévi en novembre 2013 aux Philippines. Suivront de nombreuses opérations menées par différentes ONG comme Save the Children mais aussi Code to Inspire, Heifer International ou encore Black Girls Code. En 2015, BitGive lance GiveTrack, une plateforme de dons destinée aux organisations à but non lucratif,

« *afin d'offrir transparence et responsabilité aux donateurs en partageant les informations financières et les résultats directs des projets en temps réel*⁴⁹ ». GiveTrack est une plateforme de crowd donation qui permet aux donateurs de suivre leurs fonds selon le projet financé, et pour les bénéficiaires de rendre compte de sa réalisation.

Plusieurs plateformes fournissent une plateforme à destination des organismes à but non lucratif et les organisations caritatives afin de collecter des fonds en bitcoins et autres crypto-actifs, comme The Giving Block ou Engiven toutes deux créées en 2018, respectivement à Washington et en Californie aux Etats-Unis.

Engiven a ainsi annoncé avoir reçu, en octobre 2021, un don de 10 millions de dollars en bitcoins à une organisation confessionnelle non divulguée.

The Giving Block permet à plus de mille organisations d'accepter les dons en crypto-actifs.

Fidelity Charitable⁵⁰ est une organisation caritative publique de type 501(c)(3) immatriculée aux Etats-Unis depuis 1991 qui a distribué, sur la seule année 2021, 10,3 milliards de dollars à des organismes caritatifs, aux Etats-Unis et dans le monde.

48 Save the Children, <https://www.savethechildren.net/>

49 « Our History Early BitGive Projects from 2013 to 2016 », Bitgive Foundation, retrieved May 11, 2022, <https://www.bitgivefoundation.org/5-year-report-2018>

50 « How the giving account works », Fidelity Charitable, retrieved May 11, 2022, <https://www.fidelitycharitable.org/giving-account/giving-account-details.html>

Les dons en crypto-actifs représentent la même année 274 millions de dollars, soit soit près de quatre fois plus qu'en 2017, (69 millions de dollars), selon un porte-parole de l'entreprise cité par Associated Press⁵¹.

UNICEF, Action contre la Faim, la liste des ONG acceptant directement ou par l'intermédiaire d'une plateforme les dons en crypto-actifs est longue. Les plateformes permettant d'accepter les dons en crypto-actifs deviennent de nouveaux intermédiaires facilitant les campagnes de dons vers des ONG, permettant à ces dernières au sein d'un même environnement, de notamment gérer la diversité des dons (Engiven supporte 42 crypto-actifs différentes), les reçus de dons, la détention (Custody) de crypto-actifs et leur conversion, ou non, en monnaie fiat et vers le système bancaire de l'ONG bénéficiaire.

Est-ce à dire que les ONG s'adaptent à vouloir rajeunir l'âge de leurs donateurs ? Selon le Pew Resarch⁵², 16 % des Américains déclarent avoir déjà investi, négocié ou utilisé des crypto-actifs et ce chiffre monte à environ quatre Américains sur dix et deux Américaines sur dix parmi ceux âgés de 18 à 29 ans. En France,

une étude publiée en février 2022 par l'Association pour le développement des actifs numériques (Adan) rapporte⁵³ que 8 % des Français ont également déjà investi dans des crypto-actifs, un chiffre qui s'élève à 12 % pour les moins de 35 ans.

Don via NFT*

Les jetons non fongibles (Non Fungible Token - NFT*), associés au domaine de l'art et des contenus numériques, deviennent une nouvelle source de financement de projets à dimensions sociale et/ou environnementale. Les premiers jetons non fongibles ont été créé sur la blockchain Bitcoin en 2012, avec les Colored Coins proposés par Yoni Assia dans un premier article intitulé « bitcoin 2.X (aka Colored Bitcoin) – initial specs⁵⁴ », suivi la même année par Meni Rosenfeld, auteur de « Overview of Colored Coins⁵⁵ ».

Un bitcoin est divisible jusqu'à la huitième décimale et s'appelle alors un Satoshi, en hommage à la personne ou au groupe de personnes ayant rendu public le code source du protocole en 2008. Les premiers NFT sont ainsi des Satoshis à qui l'on a attaché des données

51 « Charities see more crypto donations. Who is benefiting ? », H. Hadero, November 15, 2021 <https://apnews.com/article/cryptocurrency-technology-business-bitcoin-philanthropy-34e629f4fcda40f950c49e159c24595fa>

52 « 16% of Americans say they have ever invested in, traded or used cryptocurrency » Andrew Perrin, PewResearch, November 11, 2021, <https://www.pewresearch.org/fact-tank/2021/11/11/16-of-americans-say-they-have-ever-invested-in-traded-or-used-cryptocurrency/>

53 « La crypto en France : structuration du secteur et adoption par le grand public », ADAN, 14 Février 2022, <https://adan.eu/rapport/crypto-france-structuration-adoption>

54 « Bitcoin 2.X (aka Colored Bitcoin) – initial specs », March 27, 2012, retrieved May 31, 2022, <https://yoniassia.com/coloredbitcoin/>

55 « Overview of Colored Coins », Meni Rosenfeld, December 4, 2012, retrieved May 31, 2022, <https://bitcoil.co.il/BitcoinX.pdf>



d'identification, lesquelles caractérisent l'unicité de l'actif numérique, lui faisant, par là-même, perdre son caractère fongible.

Car en effet, le propre des crypto-actifs est d'être des actifs fongibles, c'est-à-dire que n'importe lequel de ces tokens peut être échangé contre un autre, alors que les jetons non fongibles désignent un actif numérique unique. Un jeton non fongible est un certificat numérique unique et indivisible, cette unicité lui permettant de certifier l'authenticité et la propriété d'objets originaux, parmi lesquels des œuvres d'art, des objets de collection, physiques ou numériques, ou encore des noms de domaines, des créances et même des biens immobiliers.

Si l'usage des NFT est resté anecdotique jusqu'en 2020, c'est à partir du début de l'année 2021 qu'ils suscitent une frénésie médiatique, un emballement des artistes et du grand public, notamment lorsque la société internationale de vente aux enchères Christie's a procédé à la vente de l'œuvre numérique de Beeple pour 69,3 millions de dollars en mars 2021⁵⁶. Selon DappRadar⁵⁷, les ventes de NFT se sont élevées à 25 milliards de dollars en 2021.

Depuis le milieu de l'année 2021 se développent ce que certains appellent « NFT Philanthropy », une philanthropie des jetons non fongibles qui consiste à mettre en vente des créations de l'esprit (image, vidéo, Gif, tweet, code source etc.) et reverser les recettes, intégralement ou en partie, à une cause sociale ou environnementale. Alex Wilson, cofondateur de la plateforme de collecte de fonds en crypto-actif The Giving Block estime, dans des propos rapportés par Cointelegraph⁵⁸, que 30 % des dons de la plateforme proviennent d'initiatives NFT, soit 12 millions de dollars.

Pour célébrer ses 75 ans, l'UNICEF a procédé à la vente de mille NFT, créé par l'artiste et scientifique Nadieh Bremer, pour un total de 235 ethers, le token de la blockchain publique Ethereum, afin de soutenir la connectivité numérique des écoles dans les communautés mal desservies, projet porté par Giga. Le projet de Giga, créé depuis 2019 par l'UNICEF et l'Union internationale des télécommunications est de (1) cartographier⁵⁹ la connectivité des écoles dans les pays en développement, (2) connecter toutes les écoles et les communautés aux alentours, (3) financer la connexion au réseau et (4) créer un écosystème propice à l'éducation et au travail⁶⁰ (voir Chapitre Communication électronique & télécommunications).

56 « Non-Fungible Token, jetons non fongibles : quand le monde de l'art rencontre celui des blockchains », Jacques-André Fines Schlumberger, *La revue européenne des médias et du numérique*, N°57-58 Printemps - été 2021, <https://la-rem.eu/2021/07/nft/>

57 Dapp Radar, retrieved May 31, 2022, <https://dappadar.com>.

58 « NFT philanthropy demonstrates new ways of giving back », Rachel Wolfson, January 31, 2022, <https://cointelegraph.com/news/nft-philanthropy-demonstrates-new-ways-of-giving-back>

59 « Mapping School Connectivity Globally », UNICEF, retrieved May 16, 2022, <https://projectconnect.unicef.org/map>

60 « Bringing Connectivity to Schools in a Fair & Transparent Way Exploring where blockchain and Giga

Le caractère programmable des NFT* (voir encadré « Comment fonctionne un NFT » au chapitre Contenus numériques et Arts) permet également de prévoir qu'à chaque cession du NFT, une part de la vente reviendra automatiquement à une cause, comme il est déjà courant de programmer une clause de royalties dans un NFT, qui enclenche le paiement d'un pourcentage ou d'un montant fixé à l'avance à chaque revente du token, un « droit de suite », assurant au créateur un revenu lié à la circulation de son œuvre sur le marché secondaire.

Enfin, des plateformes se sont créées en revendiquant le financement de causes sociales et/ou environnementales, comme **NFTb**⁶¹ ou encore **Doingud**⁶², dont les NFT en vente prévoient dès leur création, un pourcentage des recettes affectées vers une cause sociale. Par exemple, l'œuvre numérique « Yamamoto Nymph⁶³ », inscrite sur la blockchain Polygon le 24 décembre 2021 a d'abord été mis en vente à 250 dollars, avec une répartition des recettes, sur cette première transaction, de 87,5 % pour le créateur, 10 % pour OutRight Action International, une organisation internationale de défense des droits des LGBT, et 2,5 % pour la plateforme.

En juin 2022, le NFT a été remis en vente, cette fois-ci pour 69 000 dollars et, s'il se revend sur le marché secondaire, 10 % des recettes iront au créateur et 2,5 % seront reversés à nouveau à OutRight Action International.

Enfin, la vente de NFT peut être directement organisée par des collectifs ou des groupes de personnes se rassemblant autour d'une cause, comme The Indestructible Donation, lancée par un collectif de photographes ukrainiens, la vente de 40 photographies sous la forme de NFT sur la plateforme Opensea⁶⁴ et dont les fonds seront reversés à l'organisation non gouvernementale ukrainienne « Come back alive », créée en mai 2014 pour aider l'armée ukrainienne lors de la guerre du Donbass, et réactivée depuis l'invasion de l'Ukraine par la Russie en 2022.

Ces dons provenant de la vente de NFT et cette « NFT Philanthropy » s'avèrent donc être un outil supplémentaire pour les organisations ou des communautés de personnes afin de lever des fonds, renouvelant également le profil de leurs donateurs.

intersect », Christina Lomazzo, & Mehran Hydary, UNICEF.org, December 4, 2020, <https://www.unicef.org/innovation/stories/blockchain-school-connectivity>

61 « Our Mission », NFTb, retrieved June 27, 2022, <https://nftb.io/charity/>

62 « How it works », Doingud, retrieved June 27, 2022, <https://doingud.com>

63 « Yamamoto Nymph », Doingud, retrieved June 27, 2022, <https://doingud.com/creation/0xb335cc9dcdd441d703c8b96dc781499e3fd085c300000000001?edition=1>

64 « The Indestructible Donation », Open Sea, retrieved Jun 27 2022, <https://opensea.io/collection/the-indestructible-donation>



Crise humanitaire

Les cryptos devises servent également d'ultimes remèdes lors de crises de liquidités comme celles déployées par Grassroot Economics au Kenya (Voir Chapitre monnaie électronique et argent programmable - *Community Inclusion Currency*) ou encore lors de crises plus profondes. En janvier 2021, The Intercept titrait « *les afghans affamés utilisent la crypto pour éviter les sanctions américaines, les banques en faillite et les talibans*⁶⁵ ».

Lorsque les talibans sont arrivés au pouvoir en août 2021 et depuis que les Etats-Unis ont retiré leurs forces armées, l'Afghanistan fait face à une crise, dorénavant humanitaire, peu relayée par les médias occidentaux.

Les Etats-Unis ont saisi les actifs de la banque centrale afghane, interdit tout transfert d'argent vers le pays, débranché le système SWIFT qui permet des transactions financières internationales, et fait cesser les livraisons de monnaie fiduciaire par les entreprises françaises et polonaises, auparavant en charge de leur impression.

65 « Starving Afghans use crypto to sidestep U.S. sanctions, failing banks, and the taliban », Lee Fang, January 19, 2022, <https://theintercept.com/2022/01/19/crypto-afghanistan-sanctions-taliban/>

66 2nd December 2021 « One million children at risk of dying from starvation in Afghanistan within weeks », UNICEF, December 2021, <https://www.unicef.ie/2021/12/02/one-million-children-at-risk-of-dying-from-starvation-in-afghanistan-within-weeks-unicef/>

67 *Ibid.*

68 « Impoverished Afghan women are receiving emergency aid in crypto as the Taliban limits cash withdrawals and millions go hungry », Joshua Zitser, Business Insider, January 23, 2022, <https://www.businessinsider.com/afghanistan-women-turn-to-cryptocurrency-to-feed-their-families-2022-1?r=US&IR=T>

69 « Starving Afghans Use Crypto To Sidestep U.S. sanctions, failing banks, and the taliban » Lee Fang, The Intercept, January 19, 2022, <https://theintercept.com/2022/01/19/crypto-afghanistan-sanctions-taliban/>

70 *Ibid.*

Si bien que plus rien ne fonctionne dans le pays. L'UNICEF estime ainsi que « *3,2 millions d'enfants souffrent de malnutrition et que plus d'un million d'entre eux courent le risque immédiat de mourir de faim*⁶⁶ ». Pour les Nations unies, « *seulement 2 % des 40 millions d'Afghans mangent à leur faim*⁶⁷ ».

Code to Inspire, une ONG fondée par Fereshteh Forough⁶⁸ à Hérat, enseignait la programmation informatique à de jeunes Afghanes. Elle explique, pour le média Intercept⁶⁹, que « depuis septembre, nous envoyons une aide en espèces, environ 200 dollars par mois, pour chaque famille, car la majorité de nos étudiants ont déclaré que leur famille avait perdu leur emploi. Ils sont le seul soutien de la famille ».

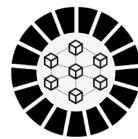
Les banques refusant tout transfert d'argent, l'ONG envoie aux familles des BUSD, une crypto-actif stable* indexé sur le dollar américain, permettant à chacune d'elles de recevoir les fonds, les convertir en afghani, la monnaie locale afghane afin qu'elles puissent « *payer les frais médicaux, la nourriture et tout ce qui est nécessaire*⁷⁰ ».

Sanzar Kakar, un entrepreneur américain d'origine afghane, a créé **HesabPay**⁷¹ en 2019, une application permettant notamment d'envoyer de l'argent convertie en USDC, une autre crypto-actif stable* indexé sur le dollar américain.

« Vous pouvez faire du commerce dans les deux sens, l'envoyer à l'étranger ou le recevoir à l'étranger, sans jamais toucher les banques, sans toucher le gouvernement afghan ou les talibans⁷² », explique-t'il.

71 « Guide Book », HesabPay, retrieved May 11 2022, <https://hesab.af/userGuide/en>

72 « Starving Afghans Use Crypto To Sidestep U.S. sanctions, failing banks, and the taliban », Lee Fang, The Intercept, January 19, 2022, <https://theintercept.com/2022/01/19/crypto-afghanistan-sanctions-taliban/>



ENJEUX ET QUESTIONS

Si des initiatives reposant sur des blockchains peuvent augmenter l'efficacité de la philanthropie et de l'aide humanitaire, notamment en lui permettant de toucher des publics jusque-là écartés de celle-ci, elles butent néanmoins sur le problème politique de la dépendance des pays dits en développement par rapport aux citoyens et aux États des pays dits développés.

En effet, la journaliste et essayiste Naomi Klein a décrit il y a quatre ans un phénomène nouveau qu'elle a identifié pour la première fois à Porto-Rico après la tempête Maria, le crypto-colonialisme¹. La promesse des blockchains de bâtir un monde plus horizontal est en effet instrumentalisée par de riches investisseurs de sorte à tester cette technologie à l'échelle d'un État, selon des fins qu'ils auront eux-mêmes préalablement définies.

Les motivations de ces derniers, selon Klein, sont bien moins louables qu'elles n'y paraissent. En effet, les possibilités en matière d'optimisation fiscale et la promesse de faire de Porto Rico « le Singapour des Caraïbes » tendent à relativiser les velléités

de ces derniers en matière de philanthropie.

Ce phénomène est aussi visible dans les domaines mentionnés dans ce chapitre, où les citoyens des pays en difficulté dépendent de l'aide au développement et de la philanthropie pour assurer leur survie.

A ce modèle technophile importé des pays dits développés, Naomi Klein oppose un modèle tout autre, porté par plusieurs couches de la société Portoricaine, fondé sur une « souveraineté du nombre » (sovereignty of the many) par rapport à une sécession d'une minorité (secession for the few). Comment les blockchains peuvent-elles contribuer à ce projet de société, c'est-à-dire un développement autonome des pays en développement ? Comment les communautés peuvent-elles se réapproprier les blockchains alors qu'elles ne disposent pas nécessairement de l'infrastructure technique nécessaire à leur utilisation ? Quels supports les projets blockchains à succès dans le domaine du développement durable peuvent-ils développer pour permettre cette réappropriation ?

¹ « The Battle for Paradise », Naomi Klein, ISBN 9781608463572, 2018. <https://gdsnet.org/NaomiKleinBattleForParadisePart1.pdf>

Au-delà du crypto-colonialisme, le système d'aides directes au développement soulève depuis longtemps des questions fondamentales : ce système pourrait-il être efficace sans l'apport des spécialistes qui gèrent les opérations sur le terrain ? Ces aides directes ne maintiennent-elles pas les bénéficiaires dans un « assistanat permanent » et un modèle dont le schéma reproduit inlassablement celui de pays développés qui aident les pays en développement, ce qui pose la question du « commerce de la charité » (charity business) dans son ensemble ?

L'apport technologique des blockchains, dès lors qu'elles sont privées, ne s'inscrit-il pas directement dans cet écueil, dont les critiques sont également portées depuis longtemps par certains chercheurs comme notamment Martin Lemberg-Pedersen, du département des sciences politiques de l'Université d'Aalborg à Copenhague au Danemark et Eman Haioty, chercheur indépendant, qui expliquent que « *l'absence de normes communes en matière de protection des données entre les ONG et les États*

du Sud mondial, ainsi que l'immunité juridique des institutions de l'ONU, créent ce que nous pouvons appeler des "failles d'externalisation". Celles-ci permettent aux entreprises technologiques de ne pas encourir de responsabilité directe lorsqu'elles testent et recherchent de nouvelles technologies sur les populations déplacées² ».

Selon Mark Duffield, Professeur émérite au Global Insecurities Centre de l'université de Bristol en Angleterre, « *les crises humanitaires complexes dans les pays du Sud sont devenues des «laboratoires cyber-humanitaires» fonctionnant comme des boucles de rétroaction permettant aux entreprises privées de tester de nouvelles technologies pour l'extraction, l'analyse et l'application de renseignements humanitaires sur les déplacements³* ».

De plus, il s'avère que bon nombre de projets blockchains « *s'inscrivent toujours dans le cadre des chaînes de valeur traditionnelles et utilisent la technologie pour améliorer progressivement la transparence et l'efficacité* » de l'aide humanitaire, comme l'expliquait en 2021⁴

² Martin Lemberg-Pedersen & Eman Haioty (2020): Re-assembling the surveillable refugee body in the era of data-craving, *Citizenship Studies*, DOI:10.1080/13621025.2020.1784641

³ *Ibid.*

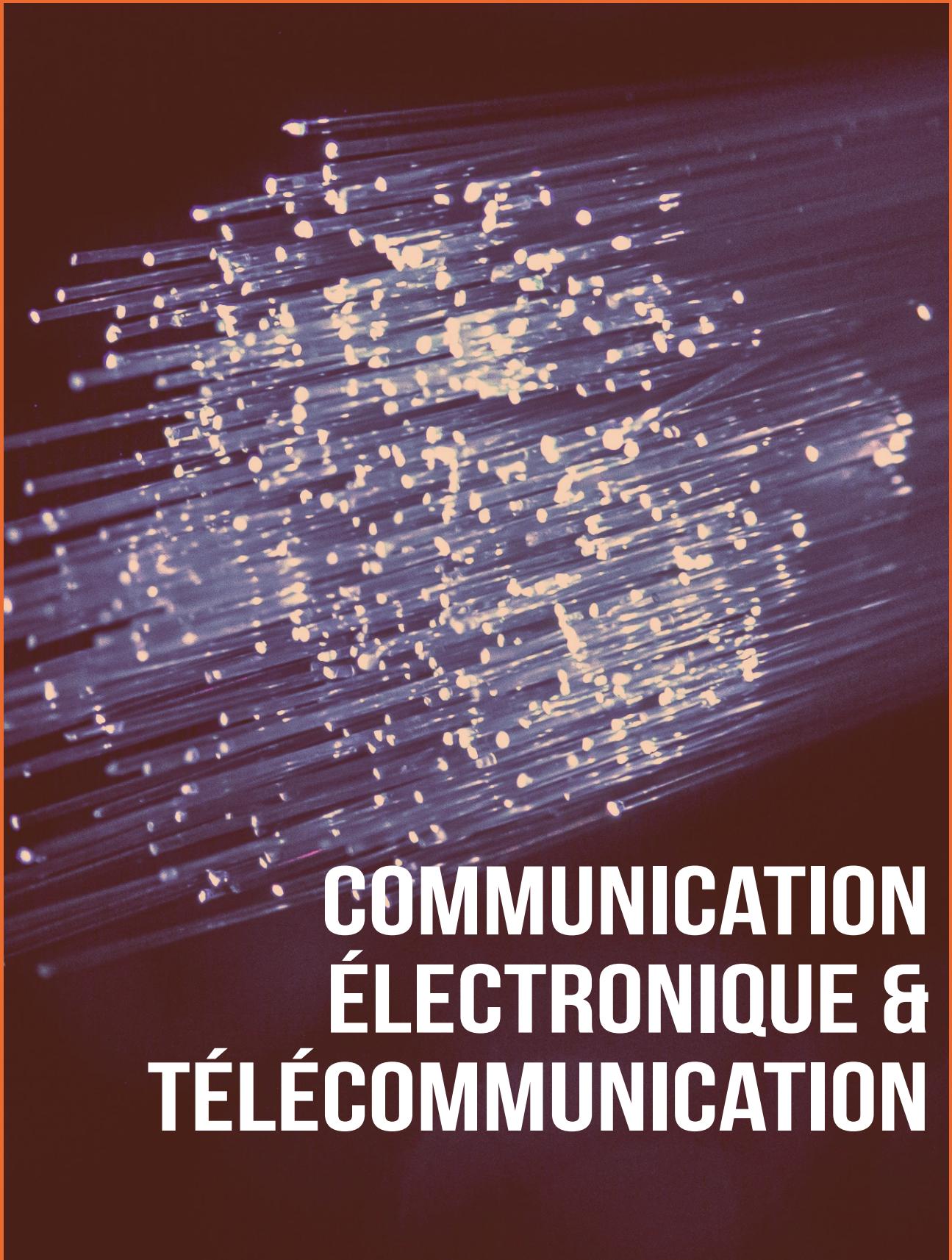
⁴ « Blockchain in Aid & Philanthropy: State of affairs », Ronald Steyer, April 18, 2021, <https://medium.com/positiveblockchain/blockchain-in-aid-philanthropy-state-of-affairs-c0b1687833d1>



Ronald M. Steyer, spécialiste de l'aide humanitaire et des blockchains.

Les initiatives relativement spontanées menées au Salvador, en République démocratique du Congo, au Guatemala ou encore au Brésil sont à suivre de près, puisqu'elles permettent une autonomisation des populations locales consistant à

basculer d'un système monétaire et d'aide humanitaire en dollar, organisé en silo, du haut vers la bas, vers un système d'argent électronique en Satoshi*, opéré en pair-à-pair et utilisable localement et dont l'intérêt dépend en grande partie de la capacité des populations à utiliser ces outils par eux-mêmes.



COMMUNICATION ÉLECTRONIQUE & TÉLÉCOMMUNICATION

COMMUNICATION ÉLECTRONIQUE & TÉLÉCOMMUNICATION

Nombre de projets dans la base : 35

Nombre de projets actifs : 29

Nom des projets actifs : 3air ; Akash ; Althea ; BitClout ; Bitminutes ; Bitrefill ; Blockstack (formerly called OneName) ; Cajutel ; DAppNode ; Deeper Network ; Dent Wireless ; DFinity ; Filecoin ; Helium ; Holo ; HOPR ; KelVPN ; Kyve ; Maidsafe ; Mysterium Network ; NYM ; Orchid Labs ; RightMesh ; Skynet ; Stacks / Hiro/Substratum ; Syntropy ; Threefold ; World Mobile Token ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à bonjour@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

Et si « l'on changeait radicalement la logique qui sous-tend l'organisation des réseaux mondiaux ? Et si les utilisateurs eux-mêmes étaient au cœur des réseaux qu'ils utilisent ? Et si les blockchains servaient aussi à bâtir des infrastructures réseau et des protocoles plus libres, plus efficents et mieux sécurisés ? » s'interroge le journaliste Cyril Fievet¹.

En effet, l'infrastructure mondiale des télécommunications est aujourd'hui centralisée et repose sur une gestion de certaines fréquences radio à l'échelle de chaque Etat et d'un petit nombre d'opérateurs de télécommunications nationaux qui construisent les réseaux. Aujourd'hui, ces réseaux « *sous-tendent la plupart des applications dont*

nos sociétés sont devenues largement dépendantes en quelques décennies² ». Les réseaux dits cellulaires de la 1G ou la 5G fonctionnent à l'international parce qu'ils sont normalisés et régulés sous l'égide de l'Union internationale des télécommunications, l'agence des Nations unies pour le développement spécialisée dans les technologies de l'information et de la communication.

Basée à Genève en Suisse, l'agence compte aujourd'hui 193 États membres et 900 entreprises, parmi lesquelles tous les opérateurs de télécommunication du monde, ainsi que des universités et des organisations internationales et régionales. Pour autant, plusieurs projets blockchain imaginent décentraliser l'accès à Internet, inventer des réseaux

1 « Demain, des réseaux vraiment décentralisés ? », Cyril Fievet, Clubic, 3 septembre 2021, <https://www.clubic.com/technologies-d-avenir/dossier-381429-demain-des-reseaux-vraiment-decentralises-.html>

2 « Les fréquences, gestion d'une ressource-clé », François Rancy, Annales des Mines Série « Enjeux numériques » N°9, Mars 2020, <https://imtech.wp.imt.fr/2020/03/13/les-frequences-gestion-dune-ressource-cle/>



distribués de télécommunication, et s'assurer que les principes de la neutralité du réseau Internet et de l'anonymat soient respectés en utilisant leurs services.

Mais comment décentraliser une infrastructure mondiale de réseau ? Car la raison pour laquelle les télécommunications *via* réseaux cellulaires sont régulées depuis 1865 est double. Le spectre des fréquences radioélectriques constitue une ressource rare, c'est-à-dire que les fréquences qui permettent d'établir une communication électronique sans fil, sur un réseau cellulaire, bien qu'instantanément renouvelables, ne sont disponibles qu'en quantité limitée à un moment donné. Et d'autre part, ces réseaux, d'un point de vue matériel, sont très coûteux à construire.

De 1976 à 2020 se sont succédées cinq générations de réseaux cellulaires : La première génération, dite 1G, date des années 1980 et inaugure l'usage de la voix en situation de mobilité, dans les années 1990. La deuxième génération, la 2G, voit se développer l'usage des SMS, la troisième génération, 3G, dans les années 2000, inaugure l'usage du Web en situation de mobilité, et dix ans plus tard, la 4G a fait basculer la voix sur IP et augmenter les débits. La 5G, quant à elle, entérine l'usage d'un réseau mondial de communications électroniques reposant sur la virtualisation logicielle de fonctions matérielles. L'histoire des

réseaux cellulaires de 1976 à 2020 aura donc consisté en l'abandon progressif des technologies téléphoniques au profit des technologies informatiques pour établir une communication dorénavant électronique, les réseaux de cinquième génération en étant la consécration.

Ainsi, depuis 2013/2014, des projets blockchains ont essaimé dans les domaines de (1) l'accès à Internet, la télévision numérique et la téléphonie sur IP, (2) des réseaux bas-débit dédiés à l'Internet des objets, (3) des réseaux privés virtuels (Virtual Private Network - VPN). Fondée en 2013 à San Francisco aux Etats-Unis, Helium est un réseau sans fil pair-à-pair opérant dans le domaine de l'Internet des objets. De plus, et même si le projet est encore à l'état d'ébauche, la communauté autour de la blockchain publique **Helium** s'interroge à propos des opportunités d'adapter leur réseau décentralisé à (4) la 5G.

Que change vraiment la 5G ?

La 5G n'est pas une simple amélioration des réseaux de quatrième génération. Sa mise en œuvre repose « sur *une architecture informatique où des équipements de réseaux sont remplacés par des serveurs spécialisés et des logiciels* ». Plus précisément, l'Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT³) explique que « dans un réseau 5G, de nombreuses fonctions réseau

³ Crée en 1953, l'Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT) rassemble les acteurs publics et privés de la Recherche et développement (R&D) en France.

seront virtualisées, c'est à dire qu'elles s'exécuteront en tant que logiciel (monde informatique) », fournissant alors les services d'un « réseau sans fil privatif ».

Sur ce « réseau sans fil privatif » à très haut débit, les entreprises deviennent alors « conceptuellement leur propre opérateur mobile sur une zone géographique clairement circonscrite », sans toutefois devenir un opérateur de télécommunications au sens de l'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse (ARCEP⁴).

Parce que les données sont alors traitées séparément de celles du « réseau public, la protection, la confidentialité des données liées aux processus et à la production devient théoriquement totale ». Ou tout du moins la valeur des données échappe totalement à l'opérateur de télécommunications et revient à l'industriel qui gère lui-même ce réseau, mais également à ses éventuels prestataires, spécialistes des données et des communications électroniques.

Accès à Internet

L'Objectif de développement durable 9, « *mettre en place une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation*⁵ », précise à la cible 9.c, qui vise expressément l'accès aux technologies de l'information et de la communication, vouloir « *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*⁶ ».

En 2019, l'UNICEF et l'Union internationale des télécommunications ont lancé **Giga**, avec pour objectif de « *fournir de la connectivité [au réseau Internet] à toutes les écoles du monde* ».

En 2020, 40 % de la population mondiale, 3,2 milliards de personnes, ne peut pas se connecter à Internet, parmi lesquelles 1 milliard se trouvent en Asie du Sud, et 870 millions en Afrique.

Le projet de Giga est de (1) cartographier⁷ la connectivité des écoles dans les pays en développement, (2) connecter toutes les écoles et les communautés aux

⁴ Crée par la loi du 26 juillet 1996, l'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse (ARCEP) est une autorité administrative indépendante française chargée de réguler les communications électroniques et postales et la distribution de la presse.

⁵ Objectif de développement durable 9 : Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/infrastructure/>

⁶ Ibid.

⁷ « Mapping School Connectivity Globally », UNICEF, retrieved May 16, 2022, <https://projectconnect.unicef.org/map>



alentours, (3) financer la connexion au réseau et (4) créer un écosystème propice à l'éducation et au travail⁸.

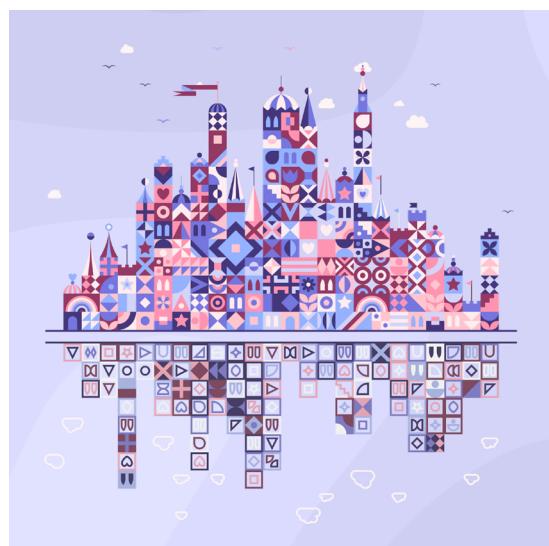
Pour mener à bien cette cartographie, Giga teste la connectivité des écoles à travers un système de suivi en temps réel dont les informations sont enregistrées dans une blockchain publique afin de « *réduire la possibilité que les informations aient été falsifiées par l'école, le fournisseur d'accès à Internet ou un autre tiers* ».

En 2021, un million d'écoles sur les six millions que visent le projet ont été cartographiées. Elles sont réparties dans 41 pays parmi lesquels le Kenya, le Rwanda, la Sierra Leone, le Kyrgyzstan, le Kazakhstan, l'Uzbekistan, le Salvador, le Honduras ou encore le Brésil. 44 % des écoles cartographiées ne disposent pas de connexion à Internet. Dans un second temps, lorsqu'une école est connectée à Internet, Giga s'assure que la connectivité est maintenue, notamment à travers des *smart contracts** qui permettent de « *gérer la relation, la conformité de l'accord et l'exécution avec le fournisseur de services Internet*⁹ » et prévenir par exemple, lorsqu'une école n'est plus connectée pendant plus de 10 jours.

Sous certaines conditions le *smart contract** pourra enclencher le paiement du Fournisseur d'accès à Internet (FAI) local lorsque celui-ci fait défaut.

Giga pourra également offrir aux individus « *la possibilité d'établir une réputation au-delà des frontières de manière décentralisée* », notamment à travers la fourniture de certificats numériques¹⁰ attestant d'une formation, permettant ainsi de « *débloquer l'accès à de nouveaux services tels que les services bancaires ou l'identification informelle* ». (voir Chapitre « Emploi & Formation »).

Giga travaille notamment sur ce sujet avec l'entreprise blockchain OS City, créée en 2016 à Mexico, qui déploie des infrastructures distribuées de services publics pour les gouvernements. Pour financer une partie de l'investissement nécessaire à la mise en place de Giga, l'Unicef a lancé depuis janvier 2022, en collaboration avec Snowcrash Labs¹¹, une collection de jetons non-fongibles (NFT*) intitulée « Patchwork Kingdoms¹² »,



8 « Bringing Connectivity to Schools in a Fair & Transparent Way Exploring where blockchain and Giga intersect », Christina Lomazzo, & Mehran Hydary, UNICEF.org, December 4, 2020, <https://www.unicef.org/innovation/stories/blockchain-school-connectivity>

9 *Ibid.*

10 « Exploring Blockchain for certification », UNICEF, retrieved May 17, 2022, <https://certificates.unicef.io/>

11 « Introducing birds of Solis », Snowcrash, retrieved July 8, 2022, <https://snowcrash.com/>

12 « Patchwork Kingdoms », GIGA, retrieved July 8, 2022, <https://www.patchwork-kingdoms.com/>

représentant chacun une école (voir image *supra*). Cette vente de NFT sert à médiatiser le projet tout en récoltant des fonds dont le produit servira à financer le programme de connectivité.

La *startup 3air* s'intéresse au problème d'accès à Internet en Afrique, notamment parce que les infrastructures de réseau nécessitent des investissements bien plus élevés qu'ils n'existent de financement. Leur idée est de remplacer la mise en place d'un réseau d'accès filaire qui arrive au domicile de chacun par un réseau Internet envoyé *via* une station émettrice et réceptionnée à l'aide de paraboles.

La station émettrice, appelée «K3 last mile», est une technologie brevetée appartenant à l'opérateur de télécommunications suisse K3 Telecom. Une station serait en mesure de fournir une connexion Internet allant jusqu'à 1Gb/s jusqu'à 50 km de distance et accueillir jusqu'à 15 000 internautes par station.

Le recours à une blockchain permettrait de gérer les identités numériques des utilisateurs, effectuer des transactions sans passer par un établissement bancaire et un certain nombre de services parmi lesquels « *la fidélisation et le parrainage des clients, la gouvernance et la création de communautés, les microcrédits, l'Internet des objets et d'autres fonctionnalités importantes orientées vers les télécommunications* ». 3air devait être construit sur la blockchain publique **Cardano** et utiliser le système

d'identité décentralisée **d'Atala Prism**. Mais face à la pénurie de compétences techniques, l'entreprise a choisi de migrer vers une autre blockchain, **SKALE network**, qui tente d'améliorer la sécurité et la décentralisation des applications basées sur Ethereum.

L'infrastructure physique de réseau a déjà été déployée aux Etats-Unis, au Canada, en Espagne, en République Tchèque, en Slovénie, en Mauritanie, au Libéria et en Sierra Leone, l'un des pays les plus pauvres d'Afrique. Une offre initiale de jetons (ICO), visant à accélérer le développement de l'entreprise, notamment dans d'autres pays africains, a été reportée plusieurs fois. La plateforme développée par 3air s'adresse aux Fournisseurs d'accès à Internet (FAI) et opérateurs de télécommunication locaux en leur offrant un système « clef en main » pour la souscription de nouveaux clients, le suivi de l'état des abonnements et des solutions de paiement *via* blockchain.

Le système de 3air simplifie la gestion du service et automatise les procédures administratives chronophages. Il s'appuie également sur un système de gestion d'identité décentralisée qui empêcherait l'exploitation des données personnelles des utilisateurs à leur insu (voir Chapitre « Identité et propriété »).

Cette initiative vise tout particulièrement les pays qui ne disposent pas d'un système bancaire opérationnel ni d'infrastructures de réseau développées. 3air imagine également pouvoir établir et



suivre des scores de crédit de l'utilisateur qui pourrait ensuite servir à mettre en place des systèmes de prêt au sein ou même en dehors de la plateforme¹³. L'infrastructure blockchain est utilisée pour permettre à un FAI ou un autre opérateur de gérer de nouveaux clients, qui devront générer une identifiant décentralisé auprès de l'opérateur, ce qui semble cependant exclure les personnes ne disposant pas de preuve de leur identité (voir Chapitre Identité et propriété).

Fondée au Canada en 2014 mais dont l'activité a cessé en 2019, **RightMesh** se présentait comme une entreprise blockchain qui « *rend la connectivité du dernier kilomètre abordable en utilisant des smartphones pour créer des réseaux maillés mobiles* ». Dans le domaine des télécommunications, le « dernier kilomètre » désigne l'écart entre l'infrastructure d'un fournisseur d'accès à Internet (FAI) et le domicile ou lieu de travail d'un client. Incubée de 2014 à 2018 par l'entreprise canadienne Left, RightMesh AG est aujourd'hui basée à Zoug en Suisse, et semble arrêtée. RightMesh a travaillé sur un projet au Bangladesh pour former des réseaux maillés mobiles en établissant et en gérant des connexions d'appareil à appareil entre des téléphones Android ou des appareils IoT*. Les connexions sont formées grâce aux technologies inhérentes à l'appareil, telles que Bluetooth, le Wi-Fi et le Wi-Fi Direct.

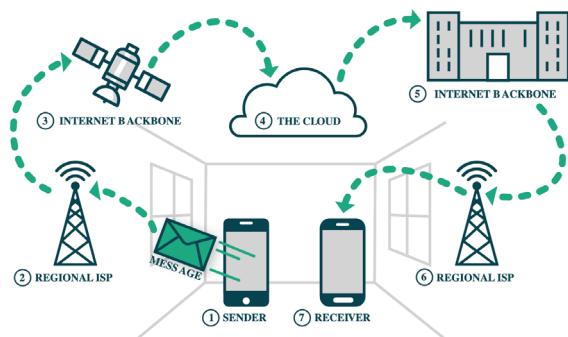
13 « White paper », 3air, retrieved June 8, 2022, https://docs.3air.io/pdf/3air_whitpaper.pdf

14 « Rightmesh », Rightmesh, Medium, retrieved May 17, 2022, medium.com/rightmesh/

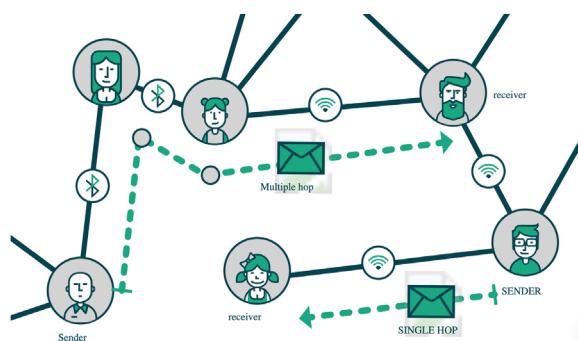
15 *Ibid.*

16 *Ibid.*

La proposition de RightMesh était la suivante :



Réseau traditionnel¹⁴



Réseau RightMesh¹⁵

Une fois qu'un appareil était connecté au réseau maillé, il pouvait envoyer et recevoir des données de l'une des deux manières suivantes : soit en un seul « saut » directement d'un dispositif à un autre, soit en mode « multi-sauts », les données étant transférées par de nombreux dispositifs jusqu'à ce qu'elles atteignent leur point d'arrivée. Cette méthode aurait également permis la livraison de messages hors ligne sur de plus grandes distances. Des tests et projets pilotes ont été menés au Bangladesh entre 2018 et 2020 avant que le projet ne s'arrête¹⁶.

Althea, une entreprise américaine basée dans l’Oregon, se présente dans son livre blanc daté de 2017¹⁷ comme un protocole de réseau maillé incitatif (*incentivized mesh network protocol*). C’est un fournisseur d’accès à Internet alternatif qui se concentre sur le problème du « dernier kilomètre » (voir *supra*). Les zones qui n’offrent pas de connexion Internet s’appellent des zones blanches. Althea Network utilise la technologie blockchain pour « *découpler les couches de service et d’infrastructure de la fourniture d’Internet, en donnant aux utilisateurs finaux la possibilité de partager les revenus en hébergeant l’infrastructure du réseau* ».

Ils mettent ainsi en œuvre un réseau maillé qui s’appuie sur des routeurs achetés par des particuliers, qui deviennent des opérateurs de réseau. Un réseau maillé correspond à une topologie de réseau où tous les hôtes sont connectés en pair-à-pair, sans point central de contrôle, et assurent ainsi le transfert de données entrantes et sortantes. Les réseaux locaux d’Althea sont ainsi constitués de nœuds appartenant aux personnes qui les utilisent et les réseaux sont gérés localement et gouvernés par la communauté de leurs utilisateurs.

Ces routeurs « *se payent mutuellement de la bande passante en utilisant des canaux de paiement en crypto-actifs*¹⁸ ». Au-dessus de ce réseau de routeurs et de transfert de données, Althea construit un système permettant aux consommateurs de payer pour l’accès à Internet. Le système est construit sur la blockchain **xDai**, une blockchain de deuxième niveau (layer 2) sur la blockchain Ethereum, permettant d’opérer des microtransactions quasiment sans frais. Déjà déployé localement aux Etats-Unis, Althea, en partenariat avec Hub Advanced Networks, ont annoncé en décembre 2021 construire ce type de réseau maillé sur l’île de Porto Rico afin d’assurer la connectivité à Internet dans des zones reculées.

ThreeFold¹⁹, créé en 2017, est une infrastructure de réseau Internet pair-à-pair et autonome (*Peer-To-Peer and autonomous Internet Grid*) qui n’utilise pas les traditionnels protocoles TCP/IP, utilisés pour le transfert des données sur Internet. L’infrastructure de réseau repose, en juin 2022²⁰, sur 3 100 nœuds, appelés 3Nodes. Ces serveurs fonctionnent avec un système d’exploitation *open-source* appelé Zero-OS et sont gérés par des personnes ou des organisations indépendantes appelées ThreeFold Farmers (« *Farmers* ») ; il existe même un guide²¹ pour que quiconque puisse créer

17 Althea, « White paper », Github, retrieved July 8, 2022, <https://github.com/althea-net/althea-whitepaper/blob/master/whitepaper.pdf>

18 « Althea Network », Althea, retrieved July 8, 2022, <https://www.althea.net/>

19 « Learn How to build the people’s Internet », Threefold, retrieved May 17, 2022, <https://library.threefold.me/info/threefold#/>

20 « ThreeFold Explorer », Threefold, retrieved July 8, 2022, <https://explorer.threefold.io/all>

21 « DIY Nodes Guide », Threefold, retrieved July 8, 2022, <https://forum.threefold.io/t/diy-nodes-guide/837>



simplement un serveur 3Nodes. Chaque 3Nodes fournit trois fonctions primitives de capacité de stockage, de capacité de calcul (sous la forme de conteneurs) et de capacité réseau (pour l'exécution des services réseau) et sont rémunérées en token (TFT) selon leur participation au réseau en termes de capacité (calcul, stockage, réseau).

Les ThreeFold Farmers génèrent des tokens appelés TFT qu'ils reçoivent en proportion de leur participation à l'infrastructure. Enfin, les utilisateurs dépensent des tokens TFT pour utiliser des capacités de calcul, de stockage et de réseau de manière modulaire, sur un registre distribué de type blockchain. Créé en 2017 sur la blockchain **Rivine** de **ThreeFold**, TFT est un token utilitaire qui permet ainsi à ses détenteurs d'utiliser la capacité Internet du ThreeFold Grid pour stocker leurs données et pour créer des applications.

Depuis la version 3.0 de ThreeFold, mis à jour en août 2021, toutes les activités stockage, de capacité de calcul et de capacité réseau, la facturation, le suivi de l'utilisation, l'identité et l'approvisionnement sont gérés sur la blockchain publique Stellar à travers le token TFT. En juin 2022, ThreeFold propose ainsi 84 Petabytes de capacité de stockage en ligne répartis dans 80 pays à travers le monde et sécurisés via 1 230 ThreeFold Farmers.

Syntropy, créé en février 2018, se présente également comme « *un projet ouvert fournissant une technologie de connectivité de nouvelle génération pour Internet* », alimenté par le token NOIA. Le livre blanc décrit le projet comme « *un écosystème et une plateforme composés de logiciels libres qui optimisent et cryptent le trafic Internet à l'aide de bibliothèques de cryptage modernes, de relais cryptés, soutenus par un grand livre distribué basé sur la blockchain. Collectivement, ces technologies servent de base à un réseau sécurisé et une économie du partage au-dessus des services Internet public existant²²* ».

22 « A business case for an Internet Blockchain », William B. Norton, June 2, 2021, Syntropy Net, <https://www.syntropynet.com/docs/Internetblockchain>

Internet des objets (et 5G)

L'Internet des objets désigne ce paradigme où le réseau Internet et les capacités computationnelles de l'ordinateur (émettre, recevoir, traiter des données) se répand dans les objets, les lieux et les environnements physiques. Cette connectivité au réseau trouve des applications dans des domaines variés, parmi lesquels l'habitat, l'agriculture, la santé, le transport ou encore l'énergie. Alors que les réseaux cellulaires des opérateurs de télécommunication offrent des débits de plus en plus rapides mais de plus en plus coûteux, d'autres types de réseau dit bas-débit se sont développés, et sont exclusivement consacrés à la communication des objets *via* Internet.

Ces réseaux étendus à basse consommation (*Low Power Wide Area Network* ou LPWAN) sont employés comme réseau pour l'Internet des objets (Internet of Things - IoT) et dans la communication machine-à-machine. Ils reposent sur des bandes de fréquences ultracourtes (Ultra Narrow Band - UNB) qui ne sont pas régulées par l'Union internationale des télécommunications et transporte de petites quantités de données (quelques Ko) sur de longues distances (quelques dizaines de kilomètre) tout en sollicitant peu d'énergie²³.

Créé en 2013 par Shawn Fanning, un ancien de Napster, Amir Haleem, et Sean Carey, **Helium** est un réseau bas débit sans fil décentralisé (*decentralized*

wireless network) à destination du marché de l'Internet des objets. Leur livre blanc, publié en novembre 2018, explique vouloir créer un réseau pour permettre « *aux appareils partout dans le monde de se connecter sans fil à Internet et de se géolocaliser sans avoir besoin d'outils de localisation par satellite très consommateurs en énergie ou de forfaits cellulaires coûteux* ».

Helium a développé le protocole Helium Wireless, WHIP, un « *protocole de réseau sans fil, bidirectionnel, sécurisé, de longue portée et de faible puissance, compatible avec une large gamme d'émetteurs-récepteurs radio existants fonctionnant dans le spectre de fréquences sans licence* ».

C'est un système de transfert de données bidirectionnel entre les dispositifs sans fil et l'Internet *via* un réseau de fournisseurs indépendants où : (1) les appareils paient pour envoyer et recevoir des données sur Internet et se géolocaliser, (2) les mineurs gagnent des token pour assurer la couverture du réseau, et (3) les mineurs gagnent des honoraires sur les transactions, et pour valider l'intégrité du réseau Helium.

Le réseau distribué s'appuie sur la « preuve de couverture de réseau » - *Proof of Coverage*, où les tokens HNT sont émis en tant que récompense auprès des participants faisant fonctionner les points d'accès du réseau. De décembre 2021 à juin 2022, le réseau est passé

23 En 2009, un dispositif Sigfox consommait 1 000 fois moins d'énergie qu'un dispositif GSM.



de 417 000 à 846 551²⁴ points d'accès (Hotspot) répartis dans 176 pays et dont les données peuvent être suivies en temps réel sur <http://explorer.helium.com/hotspots>.

Le 14 avril 2021, la communauté Helium a voté²⁵ pour travailler sur une évolution du réseau qui permettrait, à long terme, de **construire un réseau 5G décentralisé sur le même principe**. En août 2021, Helium a levé 111 millions de dollars lors d'une vente de token dirigée par Andreessen Horowitz, un fonds américain de capital-risque.

A notre connaissance, c'est le premier projet blockchain qui vient challenger le caractère industriel et centralisé des nouveaux opérateurs de données, rendus possibles par la 5G, un marché colossal qui suscite également la convoitise des trois premiers fournisseurs de services de *cloud* mondiaux, Amazon, Microsoft et Google, appelés *hyperscalers*²⁶.

24 « DISH First Major Carrier to Bring Helium 5G to the People », Amir Haleem, Helium, October 26, 2021, helium.com

25 HIP 27, un « mécanisme économique permettant de prendre en charge de nouveaux protocoles sans fil sur le réseau Helium, à commencer par le LTE et la 5G dans la bande de spectre Citizens broadband radio service (CBRS)». Selon les développeurs d'Helium, « la tarification des données ainsi que l'algorithme et le modèle économique de vérification de la couverture en radio fréquence (proof-of-coverage) qui fonctionnent bien pour LoRaWAN ne sont pas idéalement adaptés à d'autres protocoles sans fil tels que 5G, LTE, Wi-Fi, etc ».

26 « Parce qu'ils deviendraient tout à la fois des ressources clés de la 5G et qu'ils sont "détenteurs" des données de leurs "services gratuits" diffusés sur le web, Google.com, Facebook, Amazon, ces hyperscalers ne devraient être « considérés comme des compétiteurs comme les autres », estime l'Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT). Source : « La 5G dans les chaînes de valeur des données – Un défi technologique et industriel devant nous », ANRT, Pierre Bitard, mars 2021, https://www.anrt.asso.fr/sites/default/files/5g_chaine_de_valeur_des donnees_anrt_futuris_2021_mars.pdf



L'écosystème technique d'Helium (Extrait du livre blanc « Helium A Decentralized Wireless Network »).

Le réseau Helium est un réseau sans fil décentralisé construit autour de WHIP sur une blockchain spécialement conçue à cet effet, avec un token natif, le NHT.

- Les appareils se présentent sous la forme de matériel contenant une puce radio et un micrologiciel compatible avec WHIP, et dépensent des tokens en payant des mineurs pour envoyer des données vers et depuis Internet.

- Les mineurs gagnent des tokens en fournissant une couverture de réseau sans fil par le biais d'un matériel spécialement conçu pour faire un pont entre WHIP et les routeurs, qui sont des applications Internet.

- Les dispositifs stockent leurs clés privées dans du matériel de stockage et leurs clés publiques dans la blockchain. Les mineurs rejoignent le réseau en affirmant leur localisation par satellite, un type spécial de transaction dans la blockchain, et en déposant un token.

- Les mineurs précisent le prix qu'ils sont prêts à accepter pour le transport des données et les services de preuve de localisation, et les routeurs précisent le prix qu'ils sont prêts à payer pour les

données de leur dispositif. Les mineurs sont payés une fois qu'ils ont prouvé qu'ils ont livré les données au routeur spécifié du dispositif.

- Les mineurs participent à la création de nouveaux blocs dans la blockchain en étant élus via le mécanisme de consensus *asynchronous Byzantine Fault Tolerance* (aBFT*). Ils font alors partie du groupe de consensus.

- Les mineurs élus sont récompensés par de nouveaux tokens de protocole lors de la création de nouveaux blocs.

- La probabilité pour un mineur d'être élu parmi le groupe de consensus à une époque donnée est basée sur la qualité de la couverture du réseau sans fil qu'il fournit.

- La blockchain utilise la « preuve de couverture » (« *proof-of-coverage* », ou PoC) pour garantir que les mineurs représentent honnêtement la couverture du réseau sans fil qu'ils créent.

Extrait de « *Helium A Decentralized Wireless Network* » Amir Haleem, Andrew Allen, Andrew Thompson, Marc Nijdam, Rahul Garg. Helium Systems, Inc. Release 0.4.2 2018-11-14 whitepaper.helium.com —



Réseau privé virtuel décentralisé

Le réseau Internet est un bien commun, disponible et ouvert à tous. La neutralité du réseau est le principe informatique qui vise à exclure *toute discrimination à l'égard de la source, de la destination ou du contenu de l'information transmise sur le réseau pour s'assurer que les utilisateurs ne feront face à aucune gestion du trafic Internet qui aurait pour effet de limiter ou d'améliorer leur accès aux applications et services distribués sur le réseau.* En 2009, Benjamin Bayart, militant pour les libertés fondamentales dans la société de l'information et ingénieur français, a proposé quatre principes essentiels à la neutralité du Net²⁷ : (1) transmission des données par les opérateurs sans en examiner le contenu (2) transmission des données sans prise en compte de la source ou de la destination des données (3) transmission des données sans privilégier un protocole de communication (4) transmission des données sans en altérer le contenu.

Selon l'Organisation non gouvernementale Freedom House, « *la liberté sur Internet dans le monde a reculé pour la 11^e année consécutive, les plus fortes détériorations ayant été enregistrées au Myanmar (Birmanie), au Belarus (Biélorussie) et en Ouganda* ». L'ONG a récemment publié leur rapport

²⁷ « Table ronde politique : Neutralité du Net, liberté d'expression sur Internet...le Paquet Télécom et la loi HADOPI », Benjamin Bayart, April, 9 juillet 2009, <https://www.april.org/transcription-table-ronde-politique-des-rmii-2009>

²⁸ « Freedom on the Net 2021 », Grant Baker, Cathryn Grothe, Amy Slipowitz, Manisha Vepa, Kian Vesteinsson, and Tessa Weal, Freedom House, 2021, https://freedomhouse.org/sites/default/files/2021-09/FOTN_2021_Complete_Booklet_09162021_FINAL_UPDATED.pdf

²⁹ Ibid.

annuel à propos de la liberté sur Internet (voir image²⁸) et révélé que sur les « *70 pays que couvrent le rapport, 48 pays, qui représentent 88 % des internautes dans le monde – ont imposé de nouvelles règles aux entreprises technologiques en matière de contenu, de données ou de concurrence au cours de l'année écoulée²⁹* ».

GLOBAL INTERNET POPULATION BY 2021 FOTN STATUS

Freedom on the Net assesses 88 percent of the world's internet user population.



De nombreux internautes, notamment dans les pays sujets à la censure et au filtrage du réseau Internet, utilisent un réseau privé virtuel pour pouvoir se connecter à des sources d'information ou utiliser des services interdits par leur gouvernement. Un réseau privé virtuel

(en anglais *Virtual Private Network* - VPN) est un logiciel installé sur l'ordinateur ou le smartphone de son utilisateur qui redirige le trafic Internet via un tunnel sécurisé, masquant l'adresse IP et chiffrant ses données. Utiliser un VPN présente notamment l'intérêt d'échapper à la censure mise en place par un Fournisseur d'accès à Internet (FAI) ou par un État autoritaire³⁰.

Avec des centaines d'offres de logiciels VPN gratuits ou payants sur le marché, il est difficile de choisir un service en connaissance de cause, d'autant plus que de nombreux scandales ont émaillé la réputation de ces logiciels. Selon une étude conduite en 2020 par TheBestVPN³¹, parmi les 115 VPN étudiés, 26 collectaient des données permettant d'identifier les utilisateurs, notamment les adresses IP, les lieux, les données relatives à la bande passante et les horodatages de connexion. Plus intriguant encore, le modèle économique de certains VPN gratuits, vantés pour assurer une connexion sécurisée et anonyme, reposent en réalité sur la vente des données personnelles de leurs utilisateurs.

Parce qu'un VPN repose sur un opérateur central qui gère les serveurs sur lesquels

les données transitent, des projets blockchains se sont développés pour le remplacer par une architecture distribuée afin de garantir techniquement que la connexion au réseau est sécurisée et protégée. Werner Vermaak, journaliste pour CryptoSlate, définit un VPN décentralisé comme une « *connexion Internet sécurisée gérée par un réseau de nœuds, qui reçoivent une compensation pour maintenir leurs services et assurer la sécurité du réseau*. Les VPN décentralisés fonctionnent différemment des services VPN ordinaires, car ils n'ont normalement pas de fournisseur central qui gère le réacheminement du trafic Internet³² ».

Les VPN décentralisés fonctionnent à travers des applications décentralisées - *decentralized applications* (dApps)*, qui permettent au réseau d'être sécurisé et à l'utilisateur, à partir de son navigateur web, de sélectionner les nœuds à travers lesquels sa connexion sera cryptée.

Nym, Mysterium Network, Deeper Network, HOPR³³, KelVPN ou encore **Orchid Labs** sont quelques-uns de ces VPN décentralisés. Mysterium Network, créé en 2017, revendique être passé de quelque 6 500 nœuds actifs en novembre 2021 à plus de 20 000 nœuds

30 Selon l'Association, FreedomHouse.org, les pays suivants filtrent intégralement les connexions Internet qui entrent et sortent de leurs frontières : China, Iran, Myanmar, Cuba, Vietnam, Saudi Arabia, Pakistan, Egypt, Ethiopia, United Arab Emirates, Uzbekistan, Venezuela, Russia, Bahrain, Belarus, Kazakhstan, Sudan, Turkey, Azerbaijan, Thailand, Rwanda.

31 « 100+ VPN Logging Policies Debunked », Rob Mardisalu, TheBestVPN, January 6, 2020, <https://thebestvpn.com/118-vpns-logging-policy/>

32 « VPNs for data privacy », Werner Vermaak, CryptoSlate, April 18, 2021, <https://cryptoslate.com/the-5-best-decentralized-vpns-for-data-privacy/>

33 HOPR, créé à Zurich en Suisse en 2020 se présente comme « *un protocole général de la couche réseau pour permettre aux utilisateurs d'échanger des données en privé, dans la même veine que Tor (le routeur oignon) ou un réseau privé virtuel (VPN)* »#. Le réseau est encore en phase de test.



actifs en juin 2022 répartis dans plus de 120 pays, pour un trafic mensuel de données dépassant les 700 Terabytes et presque 67 000 sessions quotidiennes³⁴. **Deeper Network**, fondé en 2019 à Santa Clara aux Etats-Unis, revendique quant à lui 65 000 nœuds répartis dans plus de 200 pays³⁵.

Orchid Labs, créé³⁶ en 2017 à San Francisco aux Etats-Unis, se présente comme « *un système décentralisé et ouvert de communication anonyme et de réseau privé virtuel (VPN - Virtual Private Networking), comprenant un marché de bande passante où les fournisseurs de nœuds mettent en jeu une monnaie numérique pour annoncer leurs services en utilisant la blockchain Ethereum et reçoivent un paiement en OXT (la crypto-actif native d'Orchid)* ». Orchids Labs a créé un écosystème de VPN décentralisé reposant sur (1) une application pour ordinateur et smartphone, disponible gratuitement pour l'utilisateur, (2) un token appelé OXT, (3) un système de comptes Orchid pour assurer leur confidentialité, (4) un système de nanopaiement, (5) un système de noeuds (nodes) et (6) un système de staking*.

Le token OXT, un token ERC-20* sur la blockchain Ethereum, sert de monnaie numérique entre des fournisseurs et

des utilisateurs de bande passante. Les fournisseurs de bande passante, tous indépendants les uns des autres, sont les nœuds du réseau (*nodes*). Le système est ouvert pour que n'importe qui puisse exploiter un nœud Orchid, à charge de détenir des tokens OXT.

En effet, la blockchain Orchid s'appuie sur la preuve de détention pour sécuriser les transactions opérées sur le réseau. Plus un utilisateur détient d'OXT et de nœuds, plus les chances d'être récompensé pour valider des blocs de transactions sur le réseau sont grandes.

De son côté, l'utilisateur paye, à l'échelle du « nano paiement », en tokens OXT ou dans une autre crypto-actif prise en charge, le temps passé à utiliser la connexion Internet sécurisée.

Comme le paiement se fait au temps passé, Orchid utilise une architecture de paiement appelée « *nano-paiements probabilistes pour les paiements de réseau par paquet*³⁷ ». Ces nanopaiements sont opérés sur la blockchain Orchid pour éviter les problèmes de congestion et de frais du réseau Ethereum. Le montant minimum pour commencer à utiliser le VPN décentralisé d'Orchid Labs est de un dollar. Une autre fonctionnalité permet aux utilisateurs d'acheter des

34 « Mysterium makes the Internet blind to borders », Mysterium, retrieved May 17, 2022, mysterium.net

35 « Deeper Network Basic Mining 2.0 + Mining updates for Genesis and Basic Mining, Deeper Network May 13 <https://deeper-network.medium.com/deeper-network-basic-mining-2-0-mining-updates-for-genesis-and-basic-mining-2ec2f112cf4>

36 Par Dr. Steven Waterhouse, Jay Freeman, Brian J. Fox, Gustav Simonsson, et Stephen Bell.

37 « Introducing Nanopayments », Orchid, October 9, 2019, <https://medium.com/orchid-labs/probabilistic-nanopayments-4aa423c3f22f>

« crédits Orchid » en monnaie fiduciaire*, ces tokens OXT ne pouvant alors plus être retirés et convertis ailleurs, mais seulement dépensés auprès des fournisseurs du réseau. La place de marché sur laquelle se rejoue l'offre et la demande est décentralisée et fonctionne en pair-à-pair, ce qui garantit à l'utilisateur l'efficience du service.

Autre exemple, la *startup NYM*, basée à Neuchâtel en Suisse développe également depuis 2018, une infrastructure de réseau « *confidentielle, open source, décentralisée et sans permission* » en fournissant un système de confidentialité dit *full-stack*, que l'on peut traduire par « *clef en main* ».

Pour ses fondateurs, la confidentialité sur Internet est « *minée par une collecte de données omniprésente et des monopoles centralisés, ce qui empêche l'apparition de services et de plateformes innovants³⁸* ». Pour y remédier, l'infrastructure de NYM permet « à d'autres applications, services ou blockchains de fournir à leurs utilisateurs une forte protection des métadonnées, à la fois au niveau du réseau (mixnet), et au niveau de l'application (informations d'identification anonymes) sans avoir besoin de construire la confidentialité à partir de zéro ».

Nym est un réseau de niveau supérieur qui prend en charge les fonctions d'accès à des services en ligne afin d'être utilisées par des fournisseurs d'applications et leurs utilisateurs. Pour protéger les données qui circulent sur le réseau Internet public, le réseau Nym est composé d'un mixnet décentralisé (un réseau de nœuds de mixage), inspiré des travaux dans les années 1980 du cypherpunk David Chaum.

Sur un *mixnet*, les données de connexion sont regroupées en paquets, chiffrées successivement puis transférées de nœud en nœud (*mix nodes*) où chaque nœud ôte une couche de chiffrement, jusqu'à au dernier qui livre le message à son destinataire. De cette manière les connexions qui se font sur le réseau sont totalement anonymes, y compris pour les plus grands attaquants, capables de surveiller le réseau dans sa globalité.

Le réseau Nym compte 472 nœuds pour 13 passerelles et 27 validateurs en juin 2022³⁹. Un fonctionnement technique proche du réseau Tor, un projet *open source* immatriculé en 2006 mais imaginé depuis les années 1990, notamment sous l'impulsion du laboratoire de recherche naval américain (NRL) qui cherchait alors un moyen « *d'acheminer le trafic à travers plusieurs serveurs et de le chiffrer à chaque étape⁴⁰* » et protéger ainsi ses communications sur le réseau Internet naissant.

38 « White paper - « The Nym Network The Next Generation of Privacy Infrastructure », Claudia Diaz, Harry Halpin, and Aggelos Kiayias, Nym Technologies SA Version 1.0, Feb 26 2021, nymtech.net

39 « Overview », Nym Network explorer, retrieved Jun 8, 2022, <https://explorer.nymtech.net/overview>

40 The Tor Project, « History », <https://www.torproject.org/about/history/>



Pour utiliser le réseau Tor, une personne télécharge gratuitement le navigateur éponyme⁴¹ dont le trafic passera par un minimum de trois nœuds relais avant d'atteindre un nœud de sortie final.

Alors que Tor est basé sur un réseau dont les nœuds pour acheminer le trafic sont bénévoles, le propre des réseaux VPN décentralisés est d'ajouter une incitation

économique à la tenue d'un nœud par les opérateurs, rémunérés en crypto actifs.

Ce qui explique probablement qu'un VPN décentralisé comme Deeper Network, créé seulement en 2019, revendique 65 000 noeuds alors que le réseau Tor, au bout de 16 ans de services, n'en déploie que 6 400⁴².

41 Download Tor Browser <https://www.torproject.org/download/>

42 Tor Metrics: <https://metrics.torproject.org/>

ENJEUX ET QUESTIONS

Les technologies de l'information et de la communication sont dorénavant des infrastructures essentielles au même titre que les routes, les réseaux d'assainissement ou encore l'énergie électrique.

De vastes infrastructures de réseau font encore défaut dans bon nombre de pays en développement, ce qui fait qu'en 2021, « *16 % de la population mondiale n'a pas accès aux réseaux haut débit mobiles¹* » selon l'ONU.

L'ensemble des contraintes en matière d'infrastructures affectent la productivité des entreprises, « *d'environ 40 % pour de nombreux pays africains²* ».

Comme l'illustre le projet Giga de l'Unicef, le premier enjeu des communications électroniques est celui de l'accès à Internet, notamment dans les écoles, afin de permettre aux nouvelles générations de se former et de s'approprier les nouveaux usages du numérique.

L'infrastructure de réseaux permettant l'accès à Internet nécessite de

très lourds investissements. Verra-t-on des initiatives blockchains permettant d'innover dans le domaine de l'accès à Internet, notamment par le développement de réseaux maillés ?

Le partage de données mobiles sur blockchain pose la question de l'accès à Internet, notamment dans les pays en développement. Il peut être une solution comme mentionné précédemment, mais cette solution repose principalement sur l'accès initial à un réseau mobile classique. Comment dès lors assurer une connexion de bonne qualité, en continu et à tous ?

Les services d'accès Internet sur blockchain peuvent-ils dès lors faire l'économie d'investissements infrastructurels plus importants dans ces pays ? Au contraire, peuvent-ils permettre de diminuer le nombre d'infrastructures nécessaires à assurer une bonne connexion réseau pour tous, permettant ainsi de diminuer le coût de ces investissements ?

Le développement des réseaux

¹ Objectif de développement durable 9 : Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/infrastructure/>

² Ibid.



privés virtuels (VPN), utilisés pour pouvoir se connecter à des sources d'information ou utiliser des services de manière sécurisée rappelle combien les outils permettant d'échapper à la censure mise en place par des Fournisseurs d'accès à Internet (FAI) contrôlés par des Etats et à la surveillance des réseaux par des entreprises peu scrupuleuses sont nécessaires. Mais quelle en est l'accessibilité ? Ces services ne sont-ils pas réservés à une élite, formée et disposant d'un certain bagage technique ?

En effet, ces VPN décentralisés sont encore complexes à mettre en œuvre et à utiliser, note Louis Bertucci, chercheur à l'Institut Louis Bachelier³. « *Pour les rendre plus accessibles, il faudra une couche d'abstraction supplémentaire*

qui masquera l'utilisation de ces protocoles complexes. Nous pourrions faire le parallèle avec le réseau Internet lui-même. Internet est une succession de protocoles de communication complexes développés dans les années 1980. Cependant, l'adoption par le grand public est arrivée bien plus tard pour deux raisons : il a d'abord fallu construire l'infrastructure (les serveurs, les routeurs, etc.), puis attendre que des entreprises comme Microsoft, Google ou Amazon (pour AWS) voient le jour et permettent aux utilisateurs d'envoyer un mail par un simple clic à partir de leur machine » poursuit-il.

Se passera-t-il la même chose avec ces technologies encore émergentes ?

³ Entretien avec Louis Bertucci. 30 juin 2022.



ÉDUCATION & EMPLOI

EDUCATION ET EMPLOI

Nombre de projets dans la base : 38

Nombre de projets actifs : 20

Nom des projets actifs : African Blockchain Center for Developers ; AmwFund ; APPII ; BCDiploma ; BitDegree ; Blockcerts ; Code to inspire ; Credly ; DirectEd - Direct donation for education ; Diwala ; eMin ; Indorse ; Misthos ; Odem.io ; Open Badges ; Opolis ; Proof of Learn ; Prosoon ; Steam Role ; UNICEF Giga ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à bonjour@blockchainforgood.fr.*

Ce chapitre fait l'objet d'une publication en ligne ; si vous souhaitez échanger, annoter, corriger certaines informations, rendez-vous sur ce document : <https://blockchainforgood.fr/index.php/1-2/>

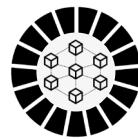
Les Objectifs de développement durable 4 et 8 visent notamment à assurer l'accès de tous à une éducation équitable, inclusive et de qualité, la possibilité d'apprentissage tout au long de la vie, ainsi qu'un plein emploi et un travail décent pour tous. Nous avons identifié une vingtaine d'initiatives blockchain qui concourent à ces Objectifs, dans les domaines de l'éducation et de la certification de diplômes, des Organisations autonomes décentralisées* sur le marché du travail ou encore de la transparence des conditions de travail de populations fragiles.

Que ce soit pour certifier un diplôme, une formation, une expérience, un contrat de travail, ces initiatives blockchain s'appuient nécessairement sur l'identité de la personne qui utilise ces services et invoque les notions d'identité décentralisée et d'attestations vérifiables à propos desquelles nous avons

consacré un chapitre entier sur le sujet au chapitre Identité & propriété. L'apport des blockchains dans le domaine de l'identité numérique est d'inverser le modèle actuel fondé sur l'authentification et le contrôle d'accès d'une personne, géré tout deux par une organisation, vers un modèle fondé sur la vérifiabilité d'attestations contrôlées par cette même personne.

Education et diplômes

Le cas d'usage le plus répandu dans le domaine de l'éducation est celui de la certification de diplômes où l'usage de blockchain permet de maintenir l'intégrité d'un registre sans qu'il ne soit plus centralisé. Il est à la fois extrêmement difficile de falsifier un tel registre et très simple pour une entreprise de vérifier dans ce même registre si un candidat est bel et bien diplômé de ladite école. **APPII** en Angleterre, **Smart Certificate** en Belgique, **Diwala** en Norvège,



Blockademia en Croatie, **BCDiploma** ou **Prosoon** en France sont quelques-unes de ces entreprises et *startups* déployant ce service de certification de diplôme. Dès 2016, des projets pilotes ont été menés au Kenya ou encore en Inde, en 2018, où cinq millions d'étudiants sont diplômés chaque année¹. Comme l'explique **Odem**, une plateforme décentralisée créée en 2017 à Zug en Suisse qui relie sans intermédiaire les employeurs, les étudiants et les formateurs, « *la façon dont nous apprenons, travaillons, recrutons et formons a évolué de façon spectaculaire ces dernières années mais l'infrastructure sous-jacente qui soutient cet écosystème n'a pas changé* ».

Régulièrement dénoncée par les écoles et par les entreprises, la fraude au diplôme serait un fléau en constante progression. Au point que des entreprises, comme Verifdiploma fondée en France en 2001, se sont lancées sur ce seul créneau d'authentification des diplômes et des expériences professionnelles de candidats. La France compte quelque 3 500 établissements d'enseignement supérieur, parmi lesquels 500 établissements publics (universités, écoles d'ingénieurs, écoles de commerce, écoles d'art et écoles d'architecture) et

quelque 3 000 écoles et instituts privés². Chaque année, Verifdiploma reçoit de la part de 2 500 d'entre eux la liste des nouveaux diplômés que l'entreprise conserve au sein d'une base de données centralisée, et se targue de passer au crible quelque 115 000 CV par an³.

La promesse d'initiatives blockchain dans le domaine de la vérification de diplômes consiste à offrir tout à la fois aux établissements supérieurs et aux candidats un moyen, sécurisé, de prouver aux employeurs la véracité de leurs diplômes, sans que le service ne passe plus par un quelconque intermédiaire. L'intérêt de la mise en place d'une telle infrastructure est double.

Pour les apprenants, elle permet de conserver un historique de leur apprentissage tout au long de la vie, et le partager, de manière sélective avec un employeur, sans avoir à solliciter ou payer un établissement pour obtenir une nouvelle copie d'un diplôme. Pour les établissements, elle permet de maintenir un registre de diplômes de manière sûre et peu coûteuse et ainsi considérablement réduire le risque de fraude, tout en soulageant les administrations sollicitées pour le renvoi de diplôme égaré.

1 « Blockchains and Education », Allan Third, Kevin Quick, Chris Valentine, Michelle Bachler, John Domingue, Knowledge Media Institute of the Open University, Knowledge Media Institute of the Open University for the European Union Blockchain Observatory and Forum, Dec 5 2019, https://www.eublockchainforum.eu/sites/default/files/research-paper/blockchain_observatory_education.pdf

2 « L'enseignement supérieur en France », EuroGuidance, retrieved May 31, 2022, <https://www.euroguidance-france.org/coming-venir-france/venir-en-france/lenseignement-superieur-france>

3 « Pour trouver un emploi, ils mentent sur leur diplôme », Chloé Marriault, start.Les Echos, 7 mai 2021, <https://start.lesechos.fr/travailler-mieux/recrutements-entretiens/pour-trouver-un-emploi-ils-mentent-sur-leur-diplome-1313415>

De telles initiatives ont émergé un peu partout dans le monde, en Europe, aux Etats-Unis, en Inde ou encore en Afrique. En Italie, **Almacert**, conçu par FlossLab⁴ en 2018 et développé en collaboration avec l'Université de Cagliari, « offre aux universités européennes la possibilité de certifier les suppléments au diplôme de leurs diplômés grâce à la blockchain publique Ethereum ».

Le **Digital Credential Consortium**, créé en 2018 par douze universités aux Etats-Unis, en Allemagne, au Canada, au Mexique et en Italie⁵, et hébergé au Massachusetts Institute of Technology, a pour vocation de déployer « une infrastructure de confiance, distribuée et partagée qui devient la norme pour l'émission, le stockage, la présentation et la vérification de titres universitaires numériques⁶ ».

Annoncé en mai 2021, en France, l'**Université de Lille** délivre dorénavant à ses étudiants un diplôme ainsi qu'une attestation numérique⁷. 20 000 étudiants diplômés en 2020 ont reçu

« un lien pérenne vers un document web infalsifiable et vérifiable, traduit en anglais, qu'il ou elle pourra présenter à un employeur, une association ou en poursuite d'études, en France et à l'étranger, permettant de vérifier l'authenticité du diplôme⁸ ».

En avril 2021, le **gouvernement éthiopien** a signé un accord pour mettre en place une solution d'identité numérique décentralisée auprès des cinq millions d'étudiants répartis dans les 3 500 écoles du pays⁹ afin notamment de leur permettre de bénéficier d'attestations numériques certifiant leur diplôme (Voir chapitre Identité & Propriété).

Obtenir une copie de son diplôme dans des pays dont le système d'éducation est mature ne pose pas de problème majeur. Il en est autrement dans les pays dont le système d'éducation est défaillant.

Le ministère éthiopien de l'éducation ne dispose aujourd'hui d'aucune donnée ni d'aucune visibilité sur les résultats scolaires avant la dernière année

4 « Metafora », Flosslab, retrieved May 31, 2022, <https://www.flosslab.com/>

5 Delft University of Technology (The Netherlands) Georgia Tech (USA) Harvard University (USA) Hasso Plattner Institute, University of Potsdam (Germany) Massachusetts Institute of Technology (USA) McMaster University (Canada) Tecnologico De Monterrey (Mexico) TU Munich (Germany) UC Berkeley (USA) UC Irvine (USA) University of Milano-Bicocca (Italy) University of Toronto (Canada).

6 « Our Technology », Digital Credentials Consortium, retrieved May 31, 2022, <https://digitalcredentials.mit.edu/>

7 « Des attestations numériques pour tous les diplômé·e·s de l'Université de Lille », Université de Lille, Communiqué de Presse, 28 mai 2021, https://www.univ-lille.fr/fileadmin/user_upload/presse/presse_2021/CPDemattestoklien.pdf

8 « 20 000 attestations numériques de réussite au diplôme émises par l'Université de Lille », Université de Lille, Communiqué de Presse, 10 février 2022, https://newsroom.univ-lille.fr/fileadmin/user_upload/presse/2022/v20.000attestationsnumeriques.pdf

9 « Ethiopia's blockchain deal is a watershed moment for the technology, and for Africa », Iwa Salami, The Conversation, 20 mai 2021, <https://theconversation.com/ethiopias-blockchain-deal-is-a-watershed-moment-for-the-technology-and-for-africa-160719>



d'école, lorsque les élèves quittent le système éducatif. En tenant un registre infalsifiable sur la blockchain publique **Cardano** et en utilisant le système d'identité décentralisé **Atala Prism**, le pays compte résoudre le fait « *qu'il est pratiquement impossible pour les étudiants de prouver leurs résultats scolaires à des employeurs potentiels ou à des établissements d'enseignement supérieur, ce qui limitait souvent considérablement leurs perspectives* »¹⁰.

Diwala, créé entre la Norvège et l'Ouganda en 2018 est une plateforme qui permet « *l'émission et la vérification sécurisées et efficaces de certificats ou de titres de compétences et s'efforce de servir la population de 1,8 milliard de personnes dans le monde qui vivent sans identité numérique et qui sont incapables de prouver leur éducation, leur travail et leur historique financier* ».

Diwala, est parti du constat que la fraude aux certificats est un problème majeur pour le système d'éducation en Ouganda. L'entreprise explique que « *lorsqu'un étudiant obtient son diplôme dans une université ougandaise, il reçoit une copie papier (le document officiel avec le sceau) et une copie électronique*

de son diplôme (un papier qui tient lieu de document réel). Afin de valider leur diplôme, les étudiants doivent ensuite obtenir différents tampons et signatures de diverses sources. Malheureusement, ces processus peuvent prendre beaucoup de temps ; des étudiants ont rapporté qu'il leur a fallu jusqu'à six mois pour recevoir leur certificat après l'obtention de leur diplôme. Les processus de validation nécessaires pour vérifier les certificats peuvent coûter jusqu'à 2 ou 300 dollars, en fonction du nombre de certificats que vous possédez ».

La plateforme s'appuie sur **uPort**, scindé depuis 2021 en deux projets, **Serto**, une solution logicielle « low code¹¹ » d'identité décentralisée et **Veramo**, un *framework* JavaScript qui permet à quiconque « *d'utiliser facilement des données cryptographiquement vérifiables dans ses applications, et de mettre en œuvre des DID¹², des attestations vérifiables et des protocoles centrés sur les données pour offrir des fonctionnalités de nouvelle génération à leurs utilisateurs¹³* ».

Depuis 2016, **deux méthodes pour garantir l'authenticité d'un diplôme ont été expérimentées**. Celle consistant à horodater et inscrire un diplôme dans une

10 « Atala Prism » Project Management Institute, retrieved May 31, 2022, <https://www.pmi.org/most-influential-projects-2021/50-most-influential-projects-2021/atala-prism>

11 No code / low code : « Nouvelle tendance dans le secteur de l'informatique liée à l'apparition de plateformes de développement sans code, en anglais « No code development platform » (NCDPs). Ces structures offrent la possibilité à des personnes sans aucune compétence technique de créer toutes sortes d'applications web par le biais d'interfaces graphiques et de panneaux de configurations, sans passer par une programmation informatique traditionnelle». Source : « No code », Jacques-André Fines-Schlumberger, *La revue européenne des médias et du numérique*, N°54bis-55 Automne 2020 <https://la-rem.eu/2020/12/no-code/>

12 Voir « Chapitre Identité et propriété »: Identité décentralisée - DID

13 « Introduction », Veramo, retrieved May 31, 2022, <https://veramo.io/docs/basics/introduction>

blockchain, comme les initiatives menées par l'école d'ingénieurs Holberton à San Francisco, aux États-Unis, avec la société **Bitproof**¹⁴, par l'École Supérieure d'Ingénieurs Léonard-de-Vinci (ESILV) en 2016, ou encore par l'École nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne (IMT Atlantique) en 2017, en partenariat avec la startup **Woleet**, spécialisée dans l'ancrage de documents dans une blockchain¹⁵ et Digiposte, la solution de coffres forts numériques du groupe La Poste. « *Chaque diplômé a reçu, en plus de son diplôme papier, une version numérisée de celui-ci accompagnée d'un certificat d'ancrage dans la blockchain de Bitcoin*¹⁶ » expliquait Marianne Laurent, alors chargée de mission innovation et créativité à l'IMT Atlantique.

Une autre méthode consiste à s'appuyer sur un système d'identité décentralisé / attestations vérifiables¹⁷, à l'instar de **Prosoon** qui permet d'émettre des attestations vérifiables sur plusieurs infrastructures compatibles Ethereum Virtual Machine (EVM*), comme Ethereum, Tezos, Polygon ou encore Solana.

Selon le **Digital Credential Consortium**, « *une attestation vérifiable peut être imaginée comme la combinaison de deux*

*éléments : un document et une enveloppe dans laquelle ce document est placé. Le document est comme le morceau de papier qu'une université délivre à un diplômé, qui contient le nom du destinataire ainsi qu'une description du titre qu'il a reçu. L'enveloppe protège le contenu du document afin qu'il ne puisse pas être modifié et qu'il communique de manière fiable l'authenticité de son contenu*¹⁸ ».

S'appuyer sur un écosystème d'identité décentralisée et d'attestations d'éducation vérifiables* semble être une aubaine pour l'ensemble des acteurs interagissant entre eux : les apprenants, qu'il s'agisse de leur premier diplôme ou d'une formation effectuée ultérieurement, les établissements de formation et les employeurs ou tout tiers susceptibles de vérifier l'authenticité d'un diplôme.

Pour un apprenant, il s'agit de détenir, en propre, des attestations vérifiables correspondant à l'ensemble de ses diplômes et formations tout au long de la vie, y compris si l'établissement ferme. Et de pouvoir les partager, de manière sélective ou non, avec un tiers (employeurs, services publics, organisations professionnelles etc.) en ayant l'assurance que ces informations ne seront pas exploitées à son insu.

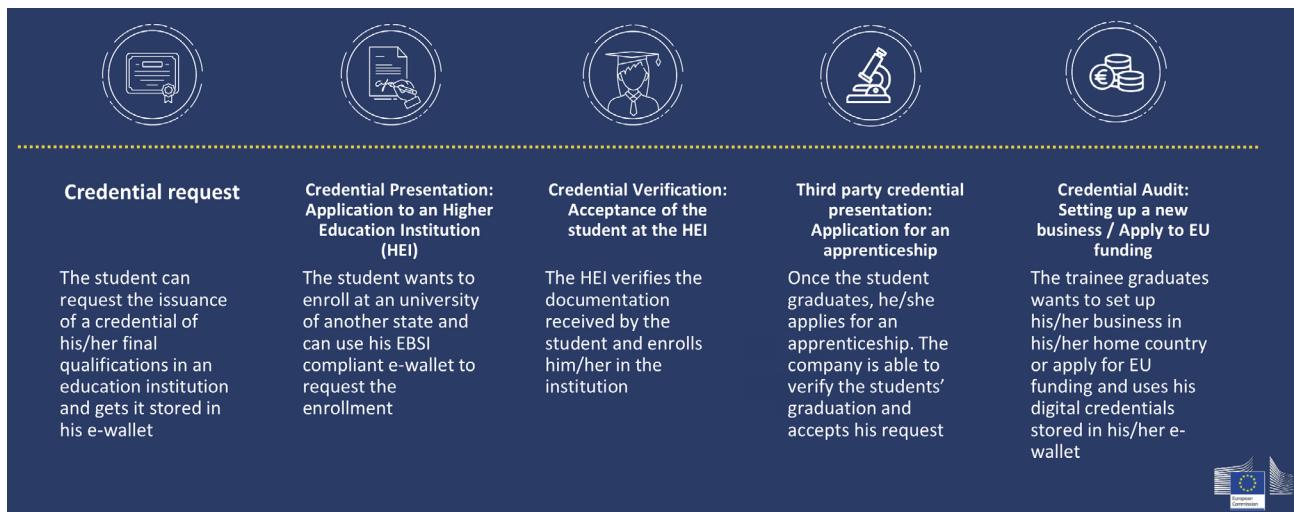
14 « Les blockchains et le droit », Boris Barraud, Revue Lamy Droit de l'immatériel, Lamy (imprimé) / Wolters Kluwer édition électronique 2018, pp.48-62.ffdhal-01729646f

15 Voir « Chapitre Identité et propriété ».

16 « Votre diplôme dans la blockchain, quels avantages ? », Marianne Laurent, Monde des Grandes Ecoles et Universités, 16 mai 2017, <https://www.mondedesgrandesecoles.fr/diplome-blockchain-avantages/>

17 Voir « Chapitre Identité et propriété ».

18 White paper: « Building the digital credential infrastructure for the future », February 2020, <https://digitalcredentials.mit.edu>



EBSI Use case: Diplomas management. Overview of core functionalities.

Source : « European Blockchain Service Infrastructure », Daniel Du Seuil – ESSIF convenor and Belgian representative in EBP, OECD, Interreg, <https://northsearegion.eu/media/16680/ebsi-explained-by-daniel-du-seuil.pdf>

Pour un établissement de formation, le premier intérêt est de s'appuyer sur des standards qui garantissent l'intégrité et la confidentialité des informations des apprenants tout en étant bien moins coûteux à mettre en œuvre qu'un système centralisé ou externalisé.

C'est également un gain de temps pour les équipes administratives chargées d'envoyer la copie de diplômes égarés par les apprenants. Pour l'employeur enfin, c'est la garantie de recevoir des CV dont les diplômes sont certifiés sans recourir à un tiers pour en vérifier l'authenticité et pour un coût proche de zéro. Sur le marché du recrutement, cela permet également de favoriser l'usage du CV anonyme qui consiste à respecter l'égalité des chances et lutter contre les discriminations à l'embauche dans

un processus de recrutement portant uniquement sur les compétences et les diplômes d'un candidat sans accéder à son identité et son nom, tant qu'il n'est pas sollicité pour un entretien¹⁹.

Face à la diversité de ces initiatives, l'intérêt de s'appuyer sur un système d'attestations vérifiables permettrait d'assurer une interopérabilité des différents services de certification de diplômes en utilisant des standards communs.

C'est l'objet de l'Infrastructure Européenne de Service Blockchain (*European Blockchain Services Infrastructure - EBSI*²⁰) dont nous parlons au Chapitre « Gouvernement et démocratie ». L'EBSI est une initiative conjointe de la Commission européenne

19 « Discriminations à l'embauche : un phénomène qui reste "généralisé et persistant" », Louise Couvelaire, 24 novembre 2021/ https://www.lemonde.fr/societe/article/2021/11/24/discriminations-a-l-embauche-un-phenomene-qui-reste-generalise-et-persistant_6103458_3224.html

20 « Introducing EBSI », European Commission, retrieved May 31 2022, <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSI/>

et de l'*European Blockchain Partnership* dont l'objet est de s'appuyer sur la standardisation de blockchains pour « accélérer la création de services transfrontaliers pour les administrations publiques et leurs écosystèmes afin de vérifier les informations et de rendre les services plus fiables²¹ ». Depuis 2020, EBSI déploie un réseau de nœuds distribués à travers l'Europe, soutenant des applications axées sur des plusieurs cas d'usage dont notamment celui de la certification des diplômes²² :

Ce qui s'inscrit dans ses efforts, entamés avec le Conseil de l'Europe et de l'UNESCO/CEPES depuis 1996, d'améliorer la transparence internationale et de faciliter la reconnaissance académique et professionnelle des qualifications telles que les diplômes, les acquis universitaires, les certificats et la formation en général.

De plus, un diplôme n'est bien souvent que le reflet d'un enseignement commun sans qu'il ne soit possible de revendiquer la granularité de ses composantes, comme les modules, les cours, les stages, les dissertations, les cas pratiques etc. Sur le modèle européen des ECTS Système Européen de transfert d'unités de cours capitalisables (European Credit Transfer System - ECTS), mis en place en 1989 dans le cadre du programme

Erasmus pour faciliter la reconnaissance académique des périodes d'études réalisées à l'étranger, et de développer qualitativement la mobilité des étudiants en Europe, il pourrait être imaginé de certifier non plus seulement un diplôme mais des « des unités de cours ».

La certification de diplômes et des apprentissages n'est probablement qu'une première étape vers la certification, plus globale, de parcours et d'expériences professionnels, tout au long de la vie des individus, de plus en plus mobiles, en adéquation avec un marché du travail en pleine mutation.

Marché du travail

Il est imaginable de transposer la certification de diplômes à la certification d'expériences professionnelles. L'émetteur d'une attestation vérifiable ne serait plus un établissement d'enseignement mais une entreprise, certifiant qu'une personne a bien travaillé en son sein.

Par exemple, **Talent Cloud**²³, dirigé par Valérie Thomas, responsable de la stratégie de mobilité des talents pour le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, est une initiative qui développe de nouveaux modèles de recrutement et

21 « What is EBSI ? », European Commission, retrieved May 31, 2022, <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSI/What+is+ebsi>

22 « Diploma Functional Scope Skip to end of metadata », Marta Pastor, Regina dela Eva, European Commission, May 26, 2021, <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSIDOC/Diploma+Functional+Scope>

23 « Talent Cloud Results Report », Government of Canada, retrieved May 31 2022, <https://talent.canada.ca/en/2000/01/01/504-blockchain.html>



de mobilisation des talents dans le secteur de la fonction publique au Canada. L'idée de Talent Cloud est d'offrir aux salariés et employeurs plus d'information qu'un simple diplôme, comme «*des descriptions fondées sur les compétences qui peuvent être mises en correspondance de manière plus précise avec les aptitudes/compétences²⁴*», explique Kim Hamilton Duffy, du Digital Credentials Consortium (voir *supra*). Hugo Spiess, fondateur de Prosoon, explique ainsi que «*les micro certifications permettent de valoriser les compétences et les expériences des apprenants au-delà des diplômes, permettant aux recruteurs une analyse plus précise sur les qualifications et les centres d'intérêts des candidats²⁵*».

Certaines entreprises s'intéressent à la manière dont les blockchains et les crypto-actifs pourraient impacter la gestion de la paie au sein des entreprises, notamment afin d'automatiser et sécuriser le paiement de salaire transfrontalier. ADP Inc., un fournisseur américain de solutions d'externalisation professionnelles relatives à la gestion du capital humain (paie, temps et activités et ressources humaines) et qui emploie quelque 60 000 collaborateurs dans le monde, explore ces potentialités depuis 2018 et a même déposé un brevet en 2019 sur une

« Payroll Based Blockchain Identity²⁶ » qui repose sur la blockchain **Ripple**, une blockchain publique permissionnée gérée par des intermédiaires bancaires et financiers²⁷.

Le projet d'innovation **Empact** du Programme alimentaire mondial (PAM) relie des étudiants non bancarisés, menacés par la faim, à l'économie numérique mondiale par le biais d'une plateforme de micro-travail et d'un portefeuille de crypto-actifs. Partant du constat que l'industrie de l'annotation des données (*data annotation industry*) dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA) est en plein essor, le Programme alimentaire mondial a construit, avec Corsali et **Celo**, le programme **EMPACT digital training**, à destination des travailleurs du secteur informel de pays en développement, en s'adressant tout particulièrement à ceux qui n'ont pas accès aux institutions financières et ne disposent pas de comptes bancaires pour recevoir des paiements.

Le projet a débuté en 2016 et six ans plus tard, 13 500 jeunes réfugiés et jeunes défavorisés, dont 54 % de femmes, en Colombie, en Irak, au Kenya, au Liban, en Palestine, en Turquie et au Zimbabwe ont pu en bénéficier.

24 « Blockchain Can Disrupt Higher Education Today, Global Labor Market Tomorrow », Andrew Singer, The CoinTelegraph, June 14, 2020, <https://cointelegraph.com/news/blockchain-can-disrupt-higher-education-today-global-labor-market-tomorrow>

25 Entretien avec Hugo Spiess, fondateur de Prosoon, Association Blockchain for Good, 30 juin 2022.

26 « Payroll based blockchain identity », United States Patent Application, FPO, November 8, 2018, <https://www.freepatentsonline.com/y2018/0322587.html>

27 Ripple permet aux institutions financières qui font partie du réseau RippleNet d'envoyer et recevoir de l'argent dans le monde entier instantanément et pour des frais de transactions modiques. Ripple : <https://ripple.com/faq/>

Ian Kimaru, 27 ans, habitant le plus grand bidonville du Kenya à Kibera témoigne ainsi : « *en trois mois seulement, je me suis familiarisé avec de nouveaux outils informatiques et j'ai appris le codage et le développement web grâce à un cours sur mesure sur la plateforme d'apprentissage Pluralsight²⁸. Ces nouvelles compétences m'ont ouvert d'énormes possibilités sur le marché mondial de l'emploi dans le secteur numérique, puisque je pouvais proposer des emplois informatiques en freelance sur l'internet²⁹* ».

Corsali est une plateforme d'apprentissage automatique alimentée par des travailleurs indépendants étiquetant des données contre rémunération depuis leurs téléphones portables³⁰. La plateforme de micro-travail intègre un portefeuille de crypto-actifs, permettant aux participants d'être payés instantanément en dollars Celo (cUSD), une crypto-actif stable* indexé au dollar américain, qu'ils peuvent en outre convertir en monnaie locale avec l'application populaire MPESA, suivant le pays dans lequel il se trouve.

Ce type d'initiative menée par le Programme alimentaire mondial (PAM) ne pourrait pas passer par une banque ou un intermédiaire financier dont les frais empêchent tout micropaiement.

28 « Our latest picture », PluralSight, retrieved May 31 2022, <https://www.pluralsight.com/>

29 « Tech Training Tackles Youth Unemployment in Kenya's Largest Urban Slum — Five Personal Stories from Kibera », WFP Innovation Accelerator, Oct 30 2020, <https://wfpinnovation.medium.com/tech-training-tackles-youth-unemployment-in-kenyas-largest-urban-slum-five-personal-stories-6b636e0b741c>

30 « Corsali — Founders Series », Amy Slawson, Medium, Jun 22 2021, <https://medium.com/virtuous-ventures/corsali-founders-series-991dd20436ee>

31 « How DAOs Could Change the Way We Work », Steve Glaveski, Harvard Business Review, Apr 07 2022, <https://hbr.org/2022/04/how-daos-could-change-the-way-we-work>

Pour d'autres, l'avenir du marché du travail réside dans les Organisations autonomes décentralisées (DAO*). Il s'agirait, pour certains, de passer d'un contrat de travail à plein temps pour un seul employeur à des contributions périodiques pour plusieurs organisations autonomes, la gestion des contrats, des missions, des paiements et même des cotisations étant prises en charge automatiquement par ce nouveau type de structure.

Pour Steve Glaveski auteur de « *Time Rich : Do Your Best Work, Live Your Best Life* », « *au lieu de travailler depuis un bureau central toute l'année et d'avoir deux à quatre semaines de congé, la plupart des contributeurs de DAO travailleront probablement à distance, se lieront dans des espaces sociaux virtuels tels que CryptoVoxels ou The Sandbox, et pendant plusieurs jours ou semaines par an, se réuniront dans la vraie vie pour des conférences et des retraites inspirantes³¹* ». Cette vision du marché du travail de demain ne va pas nécessairement dans le sens d'un appauvrissement de travailleurs indépendants, notamment ceux de l'économie des petits boulots (*Gig economy*).

Une initiative menée par **Gitcoin** donne à voir un aperçu de la manière dont une communauté de travail, ici informatique,



peut interagir à travers une Organisation autonome décentralisée (DAO*). Gitcoin se présente comme « *une plateforme où vous êtes payés pour travailler sur des logiciels open source* » parmi lesquels des langages de programmation, de développement, des langages web ou encore de *design*.

Plus exactement, GitcoinDAO réunit un marché à deux versants avec d'un côté, des développeurs informatiques et de l'autre, des personnes ou des entreprises qui financent le développement de logiciels *open source*.

GitcoinDAO se présente ainsi comme « *une communauté de citoyens de l'Internet qui construit et finance des biens publics numériques, comme les logiciels libres*³² ».

Lancée de Boulder aux Etats-Unis en 2017, Gitcoin a levé 62 millions de dollars, permettant de financer le travail de plus de 310 000 développeurs informatiques dans le monde à travers 2 400 projets. Pour ses utilisateurs, la mise en œuvre d'une DAO* permet d'éviter la bureaucratie, se passer de tiers de confiance, d'éviter les frais liés au paiement internationaux et aux cartes de crédit en se reposant sur le token de Gitcoin.

Gitcoin³³ est construit sur la blockchain publique sans permission Ethereum et remplit deux fonctions. La première est de procéder au financement de

logiciels *open source*, levant des fonds en crypto-actifs à travers un système de financement participatif (*crowdfunding*) quadratique.

Le Financement quadratique

Le financement quadratique est un système de financement s'inspirant des principes fondateurs du vote éponyme

Qu'est-ce que le vote quadratique ?

Le vote quadratique, ou système de vote à préférences multiples ordonnées, est un système de vote dans lequel les citoyens expriment leurs préférences à travers un crédit de voix dont ils disposent au départ. Chaque citoyen alloue ses crédits aux candidats qu'il souhaite. Les crédits représentent le « prix » qu'un électeur va devoir payer pour donner une voix à un candidat.

Cependant, le « prix » d'une voix n'est pas fixe : **chaque voix supplémentaire** donnée à un candidat **coûtera davantage de crédits** à l'électeur. Le « prix » en crédit correspond à la racine carrée du nombre de voix qu'il représente : 1 voix = 1 crédit, 2 voix = 4 crédits, 3 voix = 9 crédits, 4 voix = 16 crédits, 5 voix = 25 crédits, ... On dit alors que le « prix » en crédit évolue de manière quadratique.

Et au niveau du financement ?

Le financement quadratique s'est inspiré du système de vote éponyme pour lutter

32 « TLDR - What is Gitcoin ? [Updated May 2022] », Gitcoin, retrieved May 31 2022, <https://gov.gitcoin.co/tldr-what-is-gitcoin-updated-may-2022/8694>

33 « Gitcoin Core », Github, retrieved May 31, 2022, <https://github.com/gitcoinco>

contre la concentration du pouvoir de quelques gros investisseurs dans le financement des projets. Le système de financement quadratique comprend deux phases.

La première correspond à une allocation spontanée de l'argent des investisseurs vers les projets qui les intéressent. Certains projets récoltent plus ou moins d'argent, de la part d'un nombre plus ou moins important d'investisseurs. Seulement, le financement quadratique fait intervenir dans un second temps un mécanisme d'attribution des fonds d'une autre nature.

Le principe-clé en est le suivant : c'est **le nombre de contributeurs**, et non pas la somme initiale récoltée, qui **doit déterminer quel projet doit recevoir le plus**. Autrement dit, un projet ayant reçu des dons d'un nombre important de contributeurs se verra attribuer une somme d'argent plus importante que celle qu'il a récolté au départ. A contrario, un projet ayant reçu beaucoup d'argent de la part d'un petit nombre de contributeurs, verra finalement son financement diminuer.

Prenons l'exemple de deux projets ayant reçu initialement 100 GTC, la crypto-actif de Gitcoin. Le premier projet a reçu 100 GTC de la part d'**un seul donateur**, le second projet a aussi reçu 100 GTC de la part de **dix donateurs**. Grâce au financement quadratique, le projet 2 recevra finalement **190 GTC**, quand le projet 1 recevra seulement **10 GTC**.

La seconde fonction de la Gitcoin est la mise en relation de développeurs avec des porteurs de projets *open source*, la rencontre de l'offre et de la demande organisée autour d'une rémunération en crypto-actif pour le développeur. Par ces deux fonctions, Gitcoin préfigure l'une des facettes de l'économie de demain : d'une part, un financement plus horizontal de l'économie, évitant toute forme de concentration du capital investi dans un petit nombre de projets grâce au système quadratique ; et d'autre part, un marché du travail organisé en pair-à-pair, où l'offre et la demande de travail se rencontrent sans intermédiaire.



Droits des travailleurs

Organisations autonomes

Misthos ou encore **Opolis** font partie d'un mouvement, dans l'univers des crypto-actifs, visant à créer des modèles d'emploi moins centralisés qu'une entreprise traditionnelle, par le biais d'Organisations autonomes décentralisées* ou encore de portefeuilles multi-signatures*.

Créé en 2017 à Denver aux Etats-Unis, **Opolis** a d'abord été une coopérative numérique d'emploi (*Digital Employment Cooperative - DEC*) à destination des travailleurs indépendants pour leur permettre notamment de financer des prestations de santé, bénéficier de services partagés et utiliser un système de paiement inhérent à l'organisation autonome. En 2019, Opolis a reçu une subvention de développement de la part de la Fondation **MakerDAO**³⁴ afin intégrer sa crypto-actif DAI, un crypto-actif stable*, au sein de la DAO* Opolis. Aux Etats-Unis, les utilisateurs de la coopérative en ligne peuvent utiliser le crypto-actif stable* Dai pour financer

leur adhésion, cotiser à une assurance maladie, cotiser à des plans de retraite et automatiser la conformité fiscale. Ils pourront choisir d'être payés en DAI ou en monnaie fiat. Opolis, en 2021, est devenue une « *réponse basée sur la blockchain à l'essor de la gig-economy*³⁵ », main-d'œuvre payée à la tâche et gérée via des applications mobiles proposées par des plateformes numériques (Uber, Delivroo etc.) et une organisation professionnelle de l'emploi (*professional employment organization - PEO*) avec pour objectif de notamment faciliter les paiements transfrontaliers avec le crypto-actif stable* DAI.

Le fondateur de **Misthos**, Justin Carter décrit ce modèle comme « *l'abandon d'une relation employé-employeur au profit d'un consensus de groupe sur l'apport de valeur*³⁶ ». Misthos, lancé à Berlin en Allemagne en 2017 est « *une application décentralisée de gestion collaborative des finances* ». C'est un portefeuille multi-signatures développé sur la plateforme d'applications décentralisées* **Blockstack**³⁷. Ce portefeuille est conçu pour que

34 « Decentralized Employment Ecosystem Opolis to Integrate MakerDAO's Dai Cryptocurrency », Danny Nelson, CoinDesk, September 18, 2019, <https://www.coindesk.com/markets/2019/09/18/decentralized-employment-ecosystem-opolis-to-integrate-makerao-dai-cryptocurrency/>

35 « Better work in the gig economy », Jacques-André Fines Schlumberger, *La Revue Européenne des Médias*, N°53 Hiver 2019-2020, <https://la-rem.eu/2020/03/better-work-in-the-gig-economy/>

36 « Blockstack's First Business App Wants to Help Employees Earn More Crypto », Leigh Cuen, CoinDesk, July 30, 2018, <https://www.coindesk.com/markets/2018/07/30/blockstacks-first-business-app-wants-to-help-employees-earn-more-crypto/>

37 Blockstack est une « *plateforme de développement d'applications décentralisées fonctionnant sur la blockchain Bitcoin. Elle apporte une solution à la décentralisation de l'authentification, de l'autorisation et du stockage des données sécurisées par la blockchain bitcoin. Avec Blockstack, les utilisateurs contrôlent leurs données et les applications s'exécutent sur leurs appareils. Il n'y a pas d'intermédiaires, pas de mots de passe, pas de silos de données massifs à violer et pas de services qui suivent les utilisateurs sur Internet* ». « Frequently Asked Questions », Misthos, retrieved May 31, 2022, <https://www.misthos.io/faq>

l'ensemble des participants d'un projet (équipe, financiers, autre organisations) puisse gérer la répartition des revenus, reçus sous forme de bitcoins, entre leurs membres.

Il est certain que ces services s'adressent aujourd'hui avant tout à un public spécialisé, travaillant pour la plupart dans l'écosystème des crypto-actifs. Opolis entretient d'ailleurs des liens étroits avec ConsenSys, le studio de conception d'Ethereum³⁸. Mais ces expérimentations d'auto-organisation préfigurent peut-être les transformations futures de certaines organisations dont l'objectif est de mieux collaborer, notamment dans un environnement de travail à distance.

Conditions de travail

En 2020, **VerifiK8**, une entreprise œuvrant à un développement durable et travaillant avec des entreprises agroalimentaires en Asie du Sud-Est, et Diginex Solutions, une entreprise technologique spécialisée dans les chaînes d'approvisionnement responsables, ont expérimenté **eMin**. eMin, développé par Diginex est un système basé sur la blockchain publique **Tezos** et dont l'objectif est de permettre au secteur privé d'identifier le travail forcé sur leurs chaînes d'approvisionnement. Et tout particulièrement les conditions de travail des ouvriers agricoles en

Thaïlande, secteur qui emploie plus de 11 millions de personnes et un nombre important de travailleurs migrants originaires du Myanmar, de la République démocratique populaire du Laos et du Cambodge.

Le projet pilote s'est adressé à deux groupes spécifiques d'ouvriers agricoles, en octobre et décembre 2020, afin de « *mieux comprendre leur risque d'exposition à l'esclavage moderne, leur intérêt pour le stockage sécurisé de leurs contrats et autres documents professionnels clés et leur niveau de confort avec la technologie*³⁹ » : Les travailleurs permanents ayant un contrat de travail officiel et les travailleurs saisonniers employés par le biais d'accords verbaux.

Si les premiers ont montré peu d'intérêt pour l'outil, les seconds se sont montrés plus sensibles à eMin. Ce second groupe, constitué de 58 travailleurs des secteurs de la canne à sucre, du riz et du caoutchouc dans le district de Nong Bua, Sikkhoraphum et Surin en Thaïlande, sont des villageois possédant de petites exploitations rizicoles à Nong Bua et deviennent des travailleurs agricoles saisonniers dans la province de Ratchaburi pendant la récolte de la canne à sucre.

38 « Blockstack's First Business App Wants to Help Employees Earn More Crypto », Leigh Cuen, CoinDesk, July 30, 2018, <https://www.coindesk.com/markets/2018/07/30/blockstacks-first-business-app-wants-to-help-employees-earn-more-crypto/>

39 « Using Frontier Technology to Detect Hidden Labour Abuses in Agricultural Sectors in Thailand », Leanne Melnyk, Juliette Alemany, Delta 8.7, Feb 26 2021, <https://delta87.org/2021/02/using-frontier-technology-detect-hidden-labour-abuses-agricultural-sectors-thailand/?lang=fr>



Ces travailleurs agricoles saisonniers passent en général deux à trois mois à travailler dans une ferme et reçoivent une avance sur salaire, ce qui rend compliqué « *de comprendre le lien entre les heures travaillées et le paiement reçu, en particulier si les employeurs font d'autres déductions pour les intérêts ou d'autres « coûts » (tels que la nourriture, les outils et le transport)*⁴⁰ ».

De plus, ce système d'avance sur salaire lie les travailleurs qui ne peuvent plus quitter leur emploi même en cas d'abus. Certains travailleurs ont ainsi suggéré qu'eMin puisse être utilisé pour documenter clairement leurs conditions de prêt et d'emploi, y compris les paiements et les coûts en nature (tels que la fourniture de nourriture et de transport). « *En documentant ces éléments critiques au début de la relation de travail sur un grand livre immuable, on apporterait plus de transparence et de confiance aux deux parties et on réduirait le risque d'exploitation*⁴¹ » expliquent Leanne Melnyk de Diginex et Juliette Alemany de Verifik8.

Si le projet est encore en cours d'expérimentation, il s'agit bien d'un enjeu crucial de la traçabilité des chaînes

d'approvisionnement. Comme nous l'avons vu dans le chapitre « Chaîne d'approvisionnement & logistique », la transparence d'une chaîne d'approvisionnement ne vaut que si elle commence avec le premier maillon de la chaîne. Cette initiative rejoint ainsi celle de **Koa** dans le domaine de la récolte des fèves et de la pulpe de cacao, basée en Suisse et au Ghana, qui, en mars 2022 assure avoir rémunéré 2 250 petits agriculteurs ghanéens à hauteur de 263 000 euros et ayant également évité 390 tonnes de déchets alimentaires⁴².

Koa⁴³ forme les cultivateurs de cacao pour, en plus de récolter les fèves de cacao, traiter la pulpe auparavant mise au rebut, ce qui leur permet de gagner un revenu supplémentaire et d'être payés sans délai après le processus de production (voir Chapitre Chaîne d'approvisionnement & logistique).

Enfin, l'initiative **Workers Well-Being Program**⁴⁴ menée par la marque de jeans Levi Strauss & Co, accompagnée de ConsenSys, de l'Université de Harvard *Public Health Graduate School* et du *think tank* New America, vise à utiliser une blockchain pour collecter les résultats des enquêtes auprès des salariés de

40 *Ibid.*

41 *Ibid.*

42 « Can Blockchain Fix the Chocolate Industry's Labor Issues ? », Jill Ettinger, Green Queen, Mar 24 2022, <https://www.greenqueen.com.hk/blockchain-cocoa-labor-issues/>

43 « Koa taking transparency to the next level with Seedtrace », Seedtrace, May 31 2022, https://seedtrace-website.cdn.prismic.io/seedtrace-website/5270d7b5-7a21-408e-8661-beed0de6dd7e_Seedtrace_CaseStudy_KOA_01-zusammengefügt%2B%281%29.pdf

44 « Blockchain for F chain for Factory Workers: A Study of Le ers: A Study of Levi's Worker WellBeing Program », Mary Basile, Golden Gate University School of Law GGU Law Digital Commons 3-25-2020, https://digitalcommons.law.ggu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=blockchain_law

trois de leurs entreprises mexicaines concernant leurs conditions de travail.

La blockchain mise en œuvre offre aux salariés un moyen de répondre anonymement à des enquêtes, permettant de faire remonter des informations critiques quant au niveau de la gestion de l'entreprise, sans autocensure. Les résultats sont stockés dans une blockchain privée, qui est néanmoins consultable par n'importe quel membre de l'entreprise. Les autorités mexicaines auront également la possibilité de consulter les résultats, étant membre du réseau.

Ce type de dispositif vise à aller au-delà de la législation du travail au Mexique

en s'appuyant directement sur des informations fournies par des travailleurs. Ce projet avant-gardiste, démarré en 2018, a connu un premier rapport d'impact courant 2020, reposant sur une évaluation qualitative du dispositif qui a concerné « *environ 195 000 travailleurs dans 118 usines réparties dans 16 pays, ce qui représente 65 % du volume de produits de l'entreprise⁴⁵* ».

Du côté de l'entreprise Lévi-Strauss, les participants ont reconnu avoir eu une remontée d'information bien plus riche et documentée qu'à l'accoutumée, même si nous n'avons pas encore le recul nécessaire pour évaluer l'impact social de cette initiative.

45 « Levi Strauss & Co., Worker Well-being », Website, retrieved June 9, 2022, <https://www.levistrauss.com/how-we-do-business/worker-well-being/>



ENJEUX ET QUESTIONS

Comment assurer une interopérabilité des certificats portant sur des diplômes ? Il s'avère qu'entre les deux méthodes utilisées par des *startups* et des entreprises pour garantir l'authenticité d'un diplôme ou d'un certificat, - horodater le document dans une blockchain publique ou s'appuyer sur un système d'identités décentralisées et d'attestations vérifiables, cette dernière semble offrir un cadre plus propice à l'interopérabilité des services, tout à la fois pour les apprenants, les établissements de formation et les employeurs ou tout tiers susceptibles de vérifier l'authenticité d'un diplôme.

L'Europe semble privilégier cette voie, notamment par les travaux de l'EBSI qui déploie un réseau de nœuds distribués pour permettre la certification des diplômes¹.

Le marché du travail étant caractérisé par une relation employeur/employé, en quoi de nouvelles formes d'organisations décentralisées réinventent les relations de travail ou des communautés travaillant à un objectif commun ?

Si l'initiative Gitcoin semble prometteuse, il convient toutefois de préciser que le marché sur lequel elle opère est un marché déséquilibré en faveur de l'offre, c'est-à-dire des développeurs informatiques. Leurs compétences sont en effet rares, en particulier pour des projets *open-source*.

Ainsi, les développeurs informatiques se retrouvent dans une position dominante, ce qui rend leurs conditions « d'embauche » attractives. Quelles seraient les conséquences de l'adoption d'une telle décentralisation sur un marché du travail moins déséquilibré ?

Quant aux projets blockchains visant l'amélioration des conditions de travail, que ce soit par l'enregistrement des contrats ou par les enquêtes anonymes, que valent-ils lorsqu'ils sont construits sur des blockchains privées ? Est-ce que ce type de projets pourraient se développer sur des blockchains publiques ? Si oui, pourquoi des entreprises en concurrence accepteraient-elles de communiquer ce type d'information ?

1 « Diploma Functional Scope Skip to end of metadata », Marta Pastor, Regina dela Eva, European Commission, May 26 2021, <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSIDOC/Diploma+Functional+Scope>

N'y verrait-elle pas une ingérence dans leurs affaires ou une transparence sur les conditions de travail des « premiers maillons » de chaînes de valeur, encore largement opaques, notamment

sur les conditions de travail de salariés employés dans des pays de l'hémisphère Sud ? Quels pourraient être les freins ou les facteurs d'adoption de ce type de projets ?

LISTE DES ENTREPRISES & PROJETS

Construits sur une blockchain publique	Bloom	Diatom
0x	Bottlepay	Digiland
AAVE	Brave (Bas	Digitary
Accredible	brightID	DirectEd
Acre Afric	Brokoli Ne	District0x
Adhara	BTU Protoc	Diwala
aenco	Cajutel	DOVU
African BI	Callisto	DTube
Agrello	CarbonABLE	eAgronom
Agroplug	Carbonyzed	Earthbanc
Aidcoin	Cardano	Eco Coin
Air-fox	CELO	ecoriseDAO
Akash	Centrifuge	Eden DAO
Akoin	Changebloc	efforce
Akropolis	Chia	Electis
Algorand	Circles	Empowa
Ambrosus	Circularis	Encrypgen
Aragon	Civic	Energy Web
Arbol	Civic Ledg	Engie Power
Arianee	Climate Fu	Engiven
Arweave	Climatetra	EthaVerse
BenBen	CO2DAO	Etherisc
BICOWG	Code to in	Ethic Hub
Binded	Colony	Evergreen
Bit Sika	Compound	ExpertY.io
BitClout	Credly	Factom
Bitcoin Be	Curve	Faircoin
BitDegree	Cut.eco	Fiducia
Bitfury Pr	CyberFM Ma	Filecoin
Bitland	DAO IPCI	FilmChain
BitMark	DAOhaus	FintruX
Bitminutes	DAOstack	FlexFinTx
Bitnation	DAppNode	FlexiDAO
Bitpesa	Decent	Flow Carbo
Blockademi	Deeper Net	Freecoin
BlockID	Democracy	Galoy
Blockstack	Dent Wirel	GenoBank
	Dether	Gitcoin
	Devery	GivEth
	DFinity	GiveTrack

Golem	Mediachain	Remitano
Gooddollar	MediBloc	Restart En
Grassroots	MedicalCha	Retreeb
Gravity	Minds	RightMesh
Green Worl	Minespider	Royal
Greeneum	Misthos	Rupee Bloc
Grid Singularity	Moeda	Safe Haven
Grid+	Molecule	SALT
Gridcoin	Muun	Sapien
HashingDNA	Mybit	Seeds
Helium	Mysterium	Share & Ch
HIT Founda	Nebula Gen	ShareToken
Holo	Nexo	Shivom
HOPR	NFTb	Sia
Horizen	Nori	Sicpa
Humaniq	NYM	SkyChain G
Humanscape	Oceanus Fo	Skynet
HydroCoin	Odem	Smart Cert
ImpactMark	Opus	Smart Valo
Indorse	Orchid Lab	SmartCredi
Inflow Mus	Originalmy	SolarCoin
IOHK	OriginStam	Solarfullc
Ixo foundation	OriginTrai	Sovrin
Jolocom	OS City	SparkPoint
KamPay	Ozalentour	SpruceID
Keeex	Pacifical	Stacks / H
KelVPN	Pancake Sw	Steem
Kilt	Parity.Tec	Stellar
Kin	Patientory	Storj
Kivéclair	Paxful	SUKU
Klapcoin	Pinkcoin	SunContract
Kleros	Polkadot	SureRemit
klimaDAO	Promise	Syntropy
Leman	Propy	Tael
Local Bitc	PubliQ	Taro (prot)
Logion	Pylon Netw	Tecra
Longenesis	Qitmeer	TE-FOOD
Lynx	RAZ Financ	Telcoin
Maidsafe	REDD-Chain	Tellor
MakerDAO	Regen.netw	The Egypti

	Construits sur une blockchain autre que publique	
The Giving Block		BanQu
The Safe Network		Bart.Digital
The Sun Exchange		Bazaar Tech
Threefold		BCDiploma
Token Engi	1PLANET Marketplace	BeefLedger
Torum	3air	BetterChain
Toucan Protocol	Abra	Betterpath
TrafiGuard	ADMCS	Bext360
Treejer	Agri10x	BFlo
Trustlines	Agrichain	Bisq
UCASH	Agridigital	Bitcliq - Lota Digital
Uniris	Agriledger	Bitcow
Uniswap	Agri-wallet	Bitlumens
URights	Agrotoken	Bitrefill
UTU	Agrotrust	Bitt
VeChain fo	AgUnity	Bittunes
Veramo	Aid:Tech	Blockcerts
Verity Tra	Akasha World	Blockchain Charity Foundation
Vezt	Alice.si	Blockchain Helix
Vinchain	Allinfra	Blockchain My Art
VitaDAO	Althea	BlockchainingyourIP
Weifund	Amchart	Blockfreight
WePower	Ampere Energy	BlockMedx
World Mobi	AmwFund	Blok-Z
Xend	AntLove	Bloombloc
Zwei Space	APPII	Botkeji (by Kaoun)
	Arcade City	Bowhead Health
	Arcadia Blockchain Technologies	Brac blockchain pilotes
	Archipels	Breaker
	Arc-net	Bridgit
	Arup water exchange	Bron.tech
	Astri	Brooklyn Microgrid
	Atato	BurstIQ
	Avano	Cambiatus
	Avyantra	Carbonfuture GmbH
	Aware	CarbonX
	AXIchain	CareChain
	B Protocol	CargoChain
	Bananacoin	Cellulant

CentBee	Decapolis	Exalti
Cerealia	Decent (healthcare)	Excess Materials Ex-change
Chainvine	Deloitte's Smart Identity	eyeWitness to Atrocities
Chainvine	DEMARS	FairChain Foundation
Change Healthcare	dGE - Diggi	Fairfood
Choco4Peace	Dharma	FAO charcoal in Ivory Coast
Choose	Dibiz	FAO farming in Papua New Guina
Chromaway	Diem (ex Libra)	Farm
Chronicled	Digital Bazaar	FarmaTrust
Chynge	Digital Citizen Fund	Farmer Connect
Circularise	DistributedTown	Fishcoin
CircularTree	DNAtix	Flutterwave
Circulor	Doc.ai	Followmyvote
Cirplus	Doingud	Food Trax
Citizen Health - Citizen	Domi	Foodchain
DAO	Dorium	FoodGates
Civic Ledger	EBSI	Foodlogiq
Clara Diamond Solutions	EcoChain	Foodtrack
Clear Trace	EcoKraft	Forest Stewardship Council (FSC)
ClickPesa	EduCTX	Fransine Farm Norway
ClimateDAO	Ehab	FutureThinkers NFT
CO2ken	Ejara	Gab
CobaltBlockchain	Electrify.Asia	Gaiachain
Coinify	Electron	Gainforest
Coins.ph	Embleema	Gainfy
Colendi	eMin	Gavea
Commonshood	Empower	GemFair
Compellio Registry	Emurgo	project
Connecting Food	Energy Unlocked	Genecoin
ConsilX	EnergyChain	Geneyx
Coorest	Enervalis	Genuine Way
Covantis	eSolidar	Geon Network
CoverUS	evan.network	Givecrypto
Crayonic	Evercity	Gmerits
Crowdforce	Everex	Golandregistry (UN in Afghanistan)
Crypto Development	Everledger	
Fund (CDF)	Evertrace	
Datafund	Everyt	
dclimate	Evolution Energie	
dClinic	EVSHARE	

GrainChain	Land LayBy	Omnichain
Grapevine	Leap	Open Badges
Guardtime & Estonia	LegitDoc	Open Earth Foundation
eHealth strategy	Little Phil	Open Forest Protocol
Hala Systems	LO3 Energy	Open Health Network
Hara	Lucidity	Open Packaging Network
Hashed Health	Lumoin	OPN
Health Verity	IunaDNA	Open Time Stamps
Health Wizz	Lympo.io	OpenCerts
Healthcoin.nl	M-Akiba	OpenSC (WWF) & Nestlé
HIE of One	MAP	OpenSurface
Hive online	Mattereum	Opolis
Homeward	Medici Land	Oradian's Stellar
Horizon State	MediLedger	OURZ
IBISA	Meditect	Ownest
IBM Food Trust™	Medrec	PayCase
IcrowdU	Medvice	Peer Ledger
ID2020 Alliance	MedX Protocol	Peertracks
Iden3	Mimosi (PeerLedger)	Pesabase
Impact Cred	Minexx	PharmaTrace
Inclusivity.network	Mintrax	Plastic Bank
Insurwave	Mixing Bowl	PlastiCoin
International Platform for	M-Kopa Solar	PlataformaVerde
Insetting (IPI)	Mobilized construction	PledgeCamp
intiva	Modum	PointNurse
Inuk	Mojaloop	Polys
Invictus Capital	MonedaPAR.com	Popcorn network
Involve Mint	Monegraph	Porini.Foundation
IOMOB	Monerium	Poseidon Foundation
Irene Energy	Money Track	Possible Today Foundation
Irisguard	Moonjelly DAO	PowerLedger
Iryo	Morpheus	Powerpeers
iSolve	MyHealthMyData	PPPHealth4All
Kidner	Nano Health	Prescrypto
KimboCare	Neco	Procivis
Kiwi New Energy	Netservice	Project Greshm
Korapay	NutraSign	Proof of Impact
KYC-Chain	Nyala	Proof of Learn
KYG Trade Foundation	OLI Systems	Prosoon
Kyne	OmegaGrid	

Prosume	Solar Bankers	TruBudget
Provenance	Solid World DAO	Truepic
Proyecto Colmena	SolShare	TurboCereal
QLAY	SourceCred	Twiga Foods
Quanti Health	Spectral	Tykn
Raay	Spherity	Ubitquity
Raise	Spiritus	Unbiased
RCS Global and the Better Sourcing Program	Spring Labs	UnBlocked Cash Oxfam
Re Source	SPROUT	UNICEF Giga
Realchain	Statwig	UPCO2
Reason	Steam Role	Uphold
RECDefi	Substratum	Urban Array
Red Grid	Sunchain	Uulala
REMIIT	Superfluid	Venezvit
Reneum (Sindicatum Blockchain Technologies)	Suretly	VERFiD Pet
Resonate	Sustainable Bitcoin Standard	Veridium Labs
Retraced	TagONE	VerifiK8
Rewatt	Talao	Verif-y
Ribbon blockchain	Tempo's Stellar integration	VeriTag
Rice Exchange	TEO : The Energy Origin	veritise
Ricuit	TerraBioDAO	Verstegen and Fairfood
Ripe	TextileGenesis	Nutmeg
Rohingya Project	Thailand digital identity	Vevue
S3FOOD	The Bounties Network	Vidchain
Sandbox	The Commons Stack	VipiCash
ScanTrust	The new fork	Voatz
SecureKey and IBM	The Other Bar	Volt Markets
Senditto	TiiQu	Vumi's Stellar Integration (Praekelt Foundation)
Serto	Tokit (Breaker)	Waba
SESO	Topl	Wave
Sharehope	Trace My Egg	WFP Building Blocks
ShoCard	Tracr	Wholechain
Singapore Smart Nation Initiative	TradeLens	WIN
Skuchain	Transcripts	Woleet
Smart Dubai	Transparency One	Women's coin
SmartAgro	Transparent Path	Wood Tracking Protocol
Social Alpha Foundation	TraSeable Solutions	Wordproof
	TREECYCLE	Worldremit
		WPPEnergy

Wren	Youbase / Cortex
Wyre	Zenome
Xago	Zero Carbon Project
Yave Blockchain Platform	ZeroNet
Yensesa	Zlto

GLOSSAIRE

Altcoin : Un Altcoin désigne toutes les crypto-actifs alternatifs au bitcoin. Depuis la création du premier bitcoin en 2009, le site coinmarketcap.com en dénombrait 2 360 au 22 juillet 2019, 10 429 au 15 juin 2021 et 20 246 en juillet 2022.

AMM - Automated Market Maker. Voir “Teneur de Marché Automatisé”.

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 d'une blockchain.

Attestations vérifiables - Verifiable Credential - (VC) : preuves numériques délivrées par un tiers (appelé *issuer*) à un utilisateur (*holder*) prouvant une caractéristique de son identité (son âge, son lieu de naissance, ...). Ainsi, en présentant ces attestations vérifiables à un vérificateur (*verifier*), l'utilisateur peut transmettre les informations strictement nécessaires pour accéder à un service tout en restant maître de ses données personnelles.

Atomic Swap : En finance, le *swap*, de l'anglais *to swap* – échanger, désigne un contrat d'échange financier. Dans le domaine des crypto-actifs, un Atomic

Swap désigne une méthode d'échange de token 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 tokens le feront 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 d'accéder aux fonds qui sont alors retournés à l'expéditeur.

Arbre de Merkle ou arbre de hachage : En informatique et en cryptographie, un arbre de Merkle 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. Pour ce faire, au sein d'une série de données, l'une d'entre elles est hashée. Ce hash sera accolé à un hash d'une deuxième donnée issue de la même série. Cette concaténation va permettre de créer un hash parent. Le processus se répète avec les hash parents jusqu'à arriver à un hash unique, appelé le hash sommet. Ainsi, pour vérifier l'intégrité d'une donnée, il suffit de connaître le hash des données qui lui sont reliées.

Block Explorer : Voir “explorateur blockchain”.

CEX / DEX : *Centralized Exchange Platform / Decentralized Exchange Platform* - voir DEX.

Crypto-actif stable - *Stable coin* : crypto-actif collatéralisé par une monnaie fiduciaire ou sur un autre crypto-actif, respectant une parité fixe vis-à-vis de celle-ci ou celui-ci. Par exemple, le crypto-actif stable Dai de MakerDAO respecte une parité fixe vis-à-vis du dollar américain : 1 Dai = 1 USD. Il existe trois types de crypto-actifs stables, correspondant à trois moyens de respecter cette parité. D'une part, les crypto-actifs stables centralisés sont créés à partir de réserves en monnaie fiduciaire (par exemple, le dollar américain) déposées par les utilisateurs dans l'application et conservées en banque par les opérateurs du service. De fait, la quantité de crypto-actifs mise en circulation correspond exactement aux réserves de monnaie fiduciaire. D'autre part, les crypto-actifs stables décentralisés sont créés à partir de réserves dans d'autres crypto-actifs. Ainsi, les crypto-actifs stables sont créés en fonction de la valeur, en dollar, des autres crypto-actifs détenus en réserve. Le Dai de MakerDAO, précédemment mentionné, est un crypto-actif stable décentralisé. Enfin, il existe des crypto-actifs stables décentralisés

algorithmiques, qui sont créés en fonction des variations d'une autre crypto-actif créé par le même opérateur de service. Cet autre crypto-actif sera émis et racheté de sorte à faire fluctuer le cours par rapport au dollar américain. Sa valeur en dollar permettra de créer des crypto-actifs stables. Ce processus a été très décrié notamment lors de l'effondrement du stablecoin algorithmique Luna/Terra.

dApps - *Decentralized Application*, Application décentralisée : Pour Andreas Antonopoulos¹, une application décentralisée inclut « *un ou plusieurs smart contract déployé(s) sur une ou plusieurs blockchain, une interface utilisateur transparente, un modèle distribué de stockage de données, un protocole de communication de messages de pair à pair et un système décentralisé de résolution de noms*² ». Une fois déployée sur une blockchain publique comme Ethereum, le code informatique d'une application décentralisée (dApp) ne peut être ni supprimé ni arrêté afin que quiconque puisse en utiliser les fonctionnalités. Cela veut dire que même si la personne ou le groupe de personne à l'origine de l'application disparaît, l'application décentralisée, quant à elle, continuera de fonctionner.

DAO - *Decentralized Autonomous Organization*, Organisation Autonome Décentralisée : Une DAO est une organisation de personnes fonctionnant

¹ Auteur du livre de référence « Mastering Bitcoin 2nd Edition: Programming the Open Blockchain », 2017, O'Reilly, ISBN 978-1491954386

² « Mastering Bitcoin - Second Edition », Andreas M. Antonopoulos, Creative Commons, retrieved Jun 15 2022, <https://github.com/bitcoinbook/bitcoinbook>

grâce à un programme informatique qui fournit des règles de gouvernance à la communauté sans direction centralisée. Ces règles sont transparentes et immuables parce que codées dans un protocole blockchain.

DeFi - *Decentralized Finance* : voir “Finance décentralisée”

Delegated Proof of Stake : voir “Preuve d'enjeu déléguée”.

DEX - *Decentralized Exchange*, Échanges décentralisés : Un échange décentralisé (DEX) est un type d'échange de crypto-actifs qui fonctionne en pair-à-pair et sans intermédiaire. Contrairement aux plateformes d'échanges centralisées (CEX, *Centralized Exchange*), 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 garantissant un meilleur anonymat.

Explorateur de blockchain : Toute blockchain publique dispose d'une interface de ligne de commande (*Command line interface* - CLI) pour afficher l'historique des transactions sur le réseau. Afin de permettre à quiconque d'accéder à l'historique de ces transactions, la plupart des blockchains publiques proposent également un « explorateur » accessible *via* un navigateur web afin d'afficher de manière conviviale les informations recherchées. Voir par exemple <https://www.blockchain.com/explorer>.

Ethereum Virtual Machine - Machine Virtuelle Ethereum : entité virtuelle unique permettant l'exécution de tous les *smart contracts** de toutes les applications décentralisées (dApps) et de toutes les Organisations autonomes décentralisées (DAO en anglais) développées sur la blockchain publique sans permission Ethereum. En effet, Ethereum peut être comparé à un automate fini distribué. Un automate fini distribué est une construction mathématique pouvant changer d'état. Ethereum possède deux états : un état lui permettant de gérer tous les comptes et les soldes des paiements effectués avec son crypto-actif natif, l'Ether ; et un état appelé “état machine”. Cet “état machine” change de bloc en bloc, de sorte à exécuter les *smart contracts** qui s'y trouvent. Les changements de l'état machine s'effectuent selon un ensemble de règles. Ces règles spécifiques de changement d'état de bloc à bloc sont définies par l'Ethereum Virtual Machine (ethereum.org).

Feature phone - *Téléphone basique* : Téléphone mobile possédant les caractéristiques techniques basiques d'un *smartphone*.

Fork (hard / soft) - Scission : En langage informatique, un *fork* consiste à créer un nouveau logiciel à partir du code source d'un logiciel existant. Un *soft fork* apporte des modifications à la blockchain concernée 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.

Finance Décentralisée - Decentralized Finance (DeFi) : La *DeFi* est un écosystème d'applications reproduisant des services financiers sur une blockchain. Elles permettent à quiconque en a les moyens et indépendamment du pays où il se trouve ou de sa nationalité, d'emprunter, prêter et investir, assurer et échanger des crypto-actifs sans passer par un intermédiaire, les transactions étant sécurisées via l'usage d'une blockchain et de *smart contracts*.

Hachage (fonction de) : fonction mathématique qui transforme n'importe quel contenu sous la forme d'un nombre hexadécimal. À la moindre modification du contenu, le nombre haché devient totalement différent. L'intérêt d'une fonction de hachage est qu'elle ne s'applique que dans un sens : le hachage obtenu ne permet pas de remonter au contenu d'origine, en revanche il suffit de hacher à nouveau ce contenu pour vérifier que le hachage en résultant est identique, preuve qu'aucune modification n'est intervenue. Les blocs de transaction d'une blockchain sont ainsi hachés au fur et à mesure et permettent d'avoir la garantie qu'ils n'ont jamais été modifiés depuis la première transaction.

ICO - Initial Coin Offering, Offre initiale de token : Émission de tokens échangeables contre des crypto-actifs pour lever des fonds auprès d'une communauté.

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.

IPFS - InterPlanetary File System (IPFS), Système de fichier inter-planétaire : Un système distribué de fichiers pair à pair dont l'objectif est de stocker des informations et des données de manière décentralisée, sécurisée et confidentielle, permettant ainsi de se prémunir contre toute forme de censure. Aujourd'hui, une recherche d'information sur le web consiste à demander à un moteur de recherche "où se trouve le contenu" afin d'identifier l'URL du serveur où il se trouve ; une recherche dans l'IPFS consiste à demander au système "le contenu que l'on recherche", identifié par un hash cryptographique unique et permanent. Créé en 2014 par Juan Benet, IPFS est un protocole *open source* qui pourrait se développer à côté du protocole HTTP inventé par Tim Berners-Lee en 1991.

Lightning Network - réseau Lightning : Protocole de paiement de pair-à-pair construit comme une application de deuxième couche sur la blockchain Bitcoin qui permet d'opérer des transactions en bitcoin extrêmement rapides, de l'ordre d'un million par seconde, quasiment sans frais et sans dépense énergétique, puisque la validation des transactions ne nécessite pas de minage par la preuve de travail. Depuis 2015, des acteurs de la communauté Bitcoin, dont notamment

Lightning Labs, Blockstream et ACINQ, travaillent sur ce protocole qui apporte l'une des réponses au problème de changement d'ordre de grandeur (scalabilité) de Bitcoin qui, pour rappel, ne peut traiter que 7 à 10 transactions par seconde. Le réseau Lightning fonctionne depuis mai 2018.

Mainnet / Testnet : Le terme *mainnet* est utilisé pour décrire le moment où un protocole blockchain est entièrement développé et déployé, et que les transactions en crypto-actifs sont diffusées, vérifiées et enregistrées sur la blockchain. Le terme *testnet* décrit l'environnement de développement et de tests avant le lancement du *mainnet*.

Mineur : validateur de transactions sur une blockchain. Le mineur est rémunéré dans le crypto-actif natif de la blockchain au sein de laquelle il valide les transactions.

Monnaie fiduciaire - fiat money : Monnaie sous la forme de pièces et de billets, 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 le cours légal attribué par l'État.

NFT (Non-Fungible Token) : littéralement jetons non-fongibles. A contrario de deux pièces de monnaies fongibles, c'est-à-dire qui ne peuvent être différenciées (une pièce d'un euro ressemble en tous points à une autre pièce d'un euro), un NFT est un token unique, cette unicité lui faisant perdre son caractère fongible.

Un NFT exécute du code informatique stocké dans des *smart contracts** conformes à des normes différentes telles que ERC-721 sur Ethereum.

On Chain/Off Chain : Quand une transaction s'effectue *on-chain*, cela veut dire qu'elle est inscrite dans un bloc de transaction enregistré dans une blockchain. En revanche, une transaction *off-chain* se déroule en dehors de ladite blockchain. Par exemple, les transactions sur le Lightning Network (voir *supra*) sont effectuées en dehors de la blockchain de Bitcoin et sont dites *off-chain*.

Oracle : dans le domaine des blockchains, un Oracle est une source d'information provenant du monde physique sur laquelle est connecté un ou plusieurs *smart contracts* et dont les parties s'entendent sur la fiabilité des données. On peut prendre comme 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.). Utilisées dans le cadre d'applications décentralisées, les données d'un oracle permettent d'enclencher les termes d'un *smart contract*. Par exemple, une assurance paramétrique remboursera automatiquement un agriculteur en cas de perturbation météorologique dont les données sont certifiées par un oracle.

Phrase mnémotechnique - Seed Phrase : Suite de mots (généralement 12 ou 24) permettant la récupération d'un portefeuille de cryptomonnaies depuis n'importe quel appareil.

Pool de minage : association de mineurs coopérant pour la réalisation du travail de validation des transactions au sein d'une blockchain. Les gains effectués par les machines acquises en commun sont partagés entre les membres du *pool* de minage.

Portefeuille (de crypto-actifs), *Wallet* : en matière de crypto-actif, un portefeuille est un dispositif qui peut prendre la forme d'un support physique, d'un programme informatique ou encore d'un service, et dont l'objet est de stocker les clés publiques et/ou privées de crypto-actifs. Ce procédé de stockage de la clé privée, connue du seul propriétaire du portefeuille, permet à son détenteur de signer des transactions et de prouver à l'ensemble des pairs du réseau blockchain qu'il est bien le propriétaire des crypto-actifs utilisés.

Portefeuille d'identité - *Identity Wallet* : Portefeuille composé d'attestations vérifiables. Voir Attestation vérifiable

Preuve d'enjeu déléguée - *Delegated Proof of Stake* : Mécanisme de consensus réduisant le nombre de noeuds d'une blockchain et reposant sur l'élection de mineurs (les validateurs de blocs de transactions sur une blockchain) qui ont immobilisé des fonds (*stake*) en crypto-actifs dans une blockchain au prorata de ce que chacun possède.

Preuve à divulgation nulle de connaissance - *Zero Knowledge Proof* (ZKP) : Une preuve à divulgation nulle de connaissance est une méthode de

chiffrement qui permet à une personne (le prouveur) de prouver à une autre personne (le vérificateur) qu'elle est en possession de certaines informations sans les révéler au vérificateur. En d'autres termes, la preuve à divulgation nulle de connaissance permet de présenter des preuves de faits portant sur des données personnelles sans pour autant révéler ces données personnelles. Les preuves à connaissance nulle ont été conçues pour la première fois en 1985 par Shafi Goldwasser, Silvio Micali et Charles Rackoff dans leur article « *The Knowledge Complexity of Interactive Proof-Systems* ».

Proof-of-stake : Preuve d'enjeu, ou Preuve de participation. Méthode pour valider les blocs de transactions d'une blockchain imaginée par Scott Nadal et Sunny King en 2012. Cette méthode demande à l'utilisateur de prouver la possession d'une certaine quantité de crypto-actif pour prétendre pouvoir valider des blocs supplémentaires dans ladite blockchain et pouvoir percevoir la récompense 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, consomme peu d'électricité et tient sur un nano ordinateur comme le Raspberry Pi. Pour valider un bloc de transactions, le forgeur met en dépôt une certaine quantité de crypto-actifs et reçoit 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"* ».

Proof of Authority (PoA) - Preuve d'autorité : La preuve d'autorité est un algorithme de consensus qui désigne un nombre restreint et identifié d'acteurs au sein d'un réseau blockchain ayant le pouvoir de valider les transactions et de mettre à jour le registre. Cet algorithme de consensus est souvent mis en œuvre sur des blockchains privées ou de consortium. L'intérêt pour ces acteurs, souvent bancaires, étant de gagner en auditabilité et ainsi de réduire et d'optimiser les coûts liés à leur coordination.

REDD + Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation : mécanisme mis au point par les parties prenantes 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, *Radio Frequency identification* : désigne une méthode d'identification de données à distance, incorporées, sous la forme de tag, dans des objets ou des produits et comprenant une antenne associée à une puce électronique.

Satoshi : Un Satoshi est la plus petite unité divisible d'un Bitcoin, soit le 8e chiffre après la virgule. Un satoshi est donc égal à 0,00000001 bitcoin. Le nom s'inspire du nom de la personne ou du groupe de personnes ayant publiés le livre blanc fondateur de Bitcoin en 2008.

SDK - *Software Development Kit*, Kit de développement logiciel : Ensemble d'outils d'aide à la programmation pour la conception et le développement de logiciels ou d'applications.

Seed Phrase - Phrase mnémotechnique : voir "phrase mnémotechnique".

Sidechain : 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 mise à l'échelle (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 *smart contracts* dans un environnement privé avant que les données soient enregistrées dans une blockchain primaire, comme Bitcoin ou Ethereum.

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, automatiques et 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 *smart contracts*, dont notamment Ethereum, Polkadot, Tezos, Stellar ou encore Solana.

Staking : Le *staking* consiste, pour un utilisateur, à immobiliser et verrouiller des tokens dans un *smart contract*. Le protocole attribue de façon aléatoire à l'un des participants le droit de valider un bloc de transactions et recevoir une récompense en token. Le mécanisme de la “preuve de détention”, *proof of stake* incite les utilisateurs à immobiliser leur token, la probabilité d'être choisi pour valider un bloc de transaction étant proportionnelle au nombre de tokens verrouillés. Plus l'utilisateur a de tokens verrouillés, plus la probabilité d'être choisi pour valider la transaction est grande. Si un utilisateur tente d'écrire de fausses transactions dans un bloc, il perd ses tokens immobilisés et se fait bannir du réseau.

Stablecoin : voir “Crypto-actif stable”.

Teneur de marché automatisé : protocole permettant de calculer le taux de change entre deux crypto-actifs de manière automatique. Le teneur de marché automatisé est à la base de tous les DEX (*Decentralised Exchange*), et permettent à ses usagers d'échanger des crypto-actifs entre eux en pair-à-pair, sans passer par un tiers. La première plateforme à utiliser ce principe se nomme Uniswap.

Token / Tokenisation : Un token, jeton en français, est une unité (un 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 représenté numériquement et échangé via une blockchain.

Tolérance aux pannes byzantines (Byzantine Fault Tolerance, BFT) : La tolérance aux pannes byzantines est une solution au problème logique des généraux Byzantins. Ce problème logique, élaboré en 1982, consiste à expliquer les difficultés de coordination simultanée des actions de trois armées commandées par trois généraux alliés. En effet, ces derniers doivent attaquer ou battre en retraite en même temps. Or, un général ne peut connaître les actions des autres que par l'intermédiaire d'émissaires. Par conséquent, un général malveillant envoyant une information erronée aux deux autres brouillera les actions des alliés.

En appliquant cette situation aux réseaux informatiques, on peut en déduire que seulement un tiers des membres d'un réseau est capable de nuire à l'entièreté de ce dernier. La tolérance aux pannes byzantines est la capacité d'une technologie donnée de se prémunir contre ce type de comportement. Les mécanismes de consensus par la preuve de travail et par la preuve d'enjeu sont des exemples de solutions rendant les blockchains tolérantes aux pannes byzantines.

Tolérance aux pannes byzantines asynchrones (asynchronous Byzantine

Fault Tolerance, aBFT) : La tolérance aux pannes byzantines asynchrones est une manière alternative de répondre au problème des généraux byzantins (voir

supra). Plutôt que de faire en sorte que les trois généraux soient coordonnés en permanence, il s'agit de confier la direction des trois armées aux généraux bienveillants, tout en excluant le général malveillant du contrôle de son armée. Du point de vue d'un réseau informatique, un réseau tolérant aux pannes byzantines asynchrones authentifie les membres bienveillants de ce dernier pour leur confier la responsabilité de le faire fonctionner.

Wallet - Portefeuille : voir "portefeuille d'identité"

Zero Knowledge Proof - Preuve à divulgation nulle de connaissance. Voir "Preuve à Divulgation Nulle de Connaissance".

BIBLIOGRAPHIE PAR CHAPITRE

INTRODUCTION

- « Manuel de survie dans la jungle des poncifs anti-Bitcoin », Alexandre Stachtchenko, 21millions.capital.fr, 5 janvier 2022.
- « Bitcoin : la monnaie ouverte et ses ennemis », Yorick de Mombynes, 18 janvier 2022, <https://www.latribune.fr/opinions/tribunes/bitcoin-la-monnaie-ouverte-et-ses-ennemis-902225.html>
- « Letter in Support of Responsible Crypto Policy », Washington, DC 20510, <https://www.financialinclusion.tech>
- « The 2021 Global Crypto Adoption Index: Worldwide Adoption Jumps Over 880% With P2P Platforms Driving Cryptocurrency Usage in Emerging Markets », Chainanalysis, October 14, 2021, <https://blog.chainalysis.com/reports/2021-global-crypto-adoption-index/>
- « The 2021 Geography of Cryptocurrency Report », Analysis of Geographic Trends in Cryptocurrency Adoption and Usage, Chainanalysis, October 2021, go.chainalysis.com
- « A billion people have no legal identity - but a new app plans to change that », World Economic Forum, November 20, 2020, <https://www.weforum.org/agenda/2020/11/legal-identity-id-app-aid-tech/>
- « ID4D. Country Diagnostic : Kenya », World Bank, World Bank website, 2016, retrieved May 9 2022, <https://documents1.worldbank.org/curated/en/575001469771718036/pdf/Kenya-ID4D-Diagnostic-WebV42018.pdf>.
- « Le Rapport de l'Office Parlementaire », Jacques Favier, La Voie du Bitcoin, 16 août 2018, <http://blog.lavoiedubitcoin.info/post/Office-Parlementaire>
- « Blockchain, imaginaires religieux et théologie - 2020/2021 », Collège des Bernardins, 17 mars 2021, <https://www.collegedesbernardins.fr/recherche/blockchain-imaginaires-religieux-et-theologie-20202021>
- « La Chine accélère le déploiement de son yuan numérique », Claude Fouquet, 5 janvier 2022, <https://www.lesechos.fr/finance-marches/marches-financiers/la-chine-accelere-le-deploiement-de-son-yuan-numerique-1376805>
- « UNICEF Is Investing In Tech Startups », Michael Astor, UNICEF, November 15, 2016, <https://www.unicef.org/innovation/stories/unicef-investing-tech-startups>
- « Programme UNICEF Venture Fund », UNICEF, retrieved June 15, 2022, <https://www.unicef.org/innovation/venturefund>
- « Blockchain applications in the United Nations system: towards a state of readiness », Petru Dumitriu, Report of the Joint Inspection Unit, July, 2020, https://www.unjiu.org/sites/www.unjiu.org/files/jiu_rep_2020_7_english.pdf
- « UNICEF explains how Bitcoin donations help its cause », Shaurya Malwa, Cryptos-

late, April 9, 2021, <https://cryptoslate.com/exclusive-unicef-explains-how-bitcoin-donations-help-its-cause/>

- « Blockchain can be particularly beneficial to women, says WTO Director General », Luc Jose Adjinacou, CoinTribune, July 13, 2021, <https://www.coindtribune.com/en/analysis/people/blockchain-can-be-particularly-beneficial-to-women-says-wto-director-general/>

- « Blockchain can be particularly beneficial to women, says WTO Director General », Luc Jose Adjinacou, CoinTribune, July 13, 2021, <https://www.coindtribune.com/en/analysis/people/blockchain-can-be-particularly-beneficial-to-women-says-wto-director-general/>

- « Blockchain et développement durable », Livre blanc, Blockchain X, Institut Louis Bachelier, Coreum, blockchainforgood.fr, juin 2020.

- « Les 17 Objectifs de Développement durable à l'horizon 2030 », Anne Chemin-Roberty, Institut Michel Serres, institutmichelserres.ens-lyon.fr, 18 septembre 2017.

- « Toniic SDG Impact Theme Framework », toniic, September 18, 2019, <https://toniic.com/sdg-framework/>

QU'EST-CE QUE LES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE ?

- « Tier Classification for Global SDG indicators », United Nations, retrieved June 15, 2022, <https://unstats.un.org/sdgs/iaeg-sdgs/tier-classification/>

- 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/>

- « Synopsis: The Secretary-General's Strategy for Financing the 2030 Agenda for Sustainable Development (2018 –2021) », <https://www.un.org/development/desa/financing/fr/node/837>

QU'EST-CE QU'UNE BLOCKCHAIN ?

- « Bitcoin, la monnaie acéphale », Jacques Favier, Adli Takkal Bataille, CNRS Edition, 24 mai 2017.

- « The Four Blockchain Generations », Stephen Cummings, Medium, February 2, 2019, <https://medium.com/the-capital/the-four-blockchain-generations-5627ef666f3b>

- « A Gentle Introduction to Ethereum », Antony Lewis, Bits On Blocks, October 2, 2016, <https://bitsonblocks.net/2016/10/02/gentle-introduction-ethereum/>

- « What is the Difference Between Blockchain and DLT ? », Braun Wiliam, Medium, October 21, 2019, <https://medium.com/@wiliambraun427/what-is-the-difference-between-blockchain-and-dlt-c2124974f7ec>

- « The meaning of Decentralization », Vitalik Buterin, Medium, February 6, 2017,

- <https://medium.com/@VitalikButerin/the-meaning-of-decentralization-a0c92b76a274>
- « Pour rester décentralisée, la blockchain a besoin d'une gouvernance prévient la chercheuse Primavera De Filippi », Émilie Laystary, France 24, 1er Juillet 2018, <https://www.france24.com/fr/20180701-rester-decentralisee-blockchain-a-be-soin-dune-gouvernance-previent-chercheuse-primavera-filippi>
 - « Introduction to smart contracts », Ethereum, retrieved June 15, 2022, <https://ethereum.org/fr/smart-contracts/>
 - « Mastering Bitcoin - Second Edition », Andreas M. Antonopoulos, Creative Commons, retrieved June 15, 2022, <https://github.com/bitcoinbook/bitcoinbook>
 - « 2021 Global Crypto User Index », Binance, retrieved June 15, 2022, https://research.binance.com/static/pdf/Global_Crypto_Index_2021.pdf
 - « AssangeDAO Raised \$56M and Quickly Split Up. Was It Still a Success ? », Daniel Kuhn March, Yahoo, July 8, 2022, <https://finance.yahoo.com/news/assangedao-raised-56m-quickly-split-210057108.html>
 - « De l'inviolabilité d'une blockchain », Jacques-André Fines Schlumberger, La revue européenne des médias et du numérique, N°40 Automne 2016, <https://la-rem.eu/2017/02/de-linviolabilite-dune-blockchain/>
 - « DAOs Aren't A Fad — They're A Platform », Jeff Kauflin, Isabel Contreras, February 3, 2022, <https://www.forbes.com/sites/jeffkauflin/2022/02/03/daos-arent-a-fad-theyre-a-platform/?sh=726d867d19d0>

LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE DE BITCOIN

- « Environmental Implications », Cambridge Centre for Alternative Finance, retrieved June 15, 2022, <https://ccaf.io/cbeci/faq>
- « Bitcoin miners generated more than \$15 billion in revenue during 2021 », Michael McSweeney, December 23, 2021, <https://www.theblock.co/linked/128475/bitcoin-mining-2021-revenue>
- « We Welcome all Bitcoin miners to join », Bitcoin Mining Council, retrieved June 15, 2022, <https://bitcoinminingcouncil.com/>
- « Response to the Huffman Letter », Bitcoin Mining Council, May 2, 2022, https://bitcoinminingcouncil.com/wp-content/uploads/2022/05/Bitcoin_Letter_to_the_Environmental_Protection_Agency.pdf

BLOCKCHAIN FOR GOOD : PANORAMA GLOBAL

- « Blockchain Expectations and Realities From 2017 To 2021 And Beyond », Jorge Ordovás, August 30, 2021, <https://business.blogthinkbig.com/blockchain-expectations-and-realities-from-2017-to-2021-and-beyond/>

- « Electric Capital Developer Report (2021) », Maria Shen, Medium, January 5, 2022, <https://medium.com/electric-capital/electric-capital-developer-report-2021-f37874efea6d>

1. IDENTITÉ & PROPRIÉTÉ

- « A billion people have no legal identity - but a new app plans to change that », Nov 20, 2020. <https://www.weforum.org/agenda/2020/11/legal-identity-id-app-aid-tech/>
- « ID4D. Country Diagnostic : Kenya », World Bank, 2016, retrieved May 9 2022. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/575001469771718036/pdf/Kenya-ID4D-Diagnostic-WebV42018.pdf>
- « Capitalisme de surveillance », Françoise Laugée, La revue européenne des médias et du numérique N°50-51 Printemps - été 2019. <https://la-rem.eu/2019/07/capitalisme-de-surveillance/> et « Encore une autre approche du capitalisme de surveillance », Christophe Masutti, La revue européenne des médias et du numérique N°59 Automne 2021. https://la-rem.eu/2022/01/capitalisme_de_surveillance/
- « Mission d'information commune sur l'identité numérique », Assemblée Nationale, Rapport N° 3190, Mme Christine HENNION et M. Jean-Michel MIS, Rapporteurs, 8 juillet 2020. https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/micnum/l15b3190_rapport-information
- « Blockchain et souveraineté, les prémisses d'une révolution de l'identité numérique », Thibault Langlois Berthelot, publié le 27 octobre 2021. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03314568>
- « Our Focus », Decentralized Identity Foundation, DIF website, retrieved May 9 2022. <https://identity.foundation/>
- « An Introduction to Verifiable Credentials » Verifiable Credentials, retrieved May 9 2022. <https://verifiablecredential.io/learn>
- « The knowledge complexity of interactive proof-systems », Shafi Goldwasser, Silvio Micali et Charles Rackoff, Symposium of the Theory of Computation (STOC), 1985.
- The Next Generation Humanitarian Distributed Platform, Danish Red Cross, Mercy Corps, November 12, 2020, <https://reliefweb.int/report/world/next-generation-humanitarian-distributed-platform>.
- « Ethiopia's blockchain deal is a watershed moment – for the technology, and for Africa », Iwa Salami, May 20, 2021, <https://theconversation.com/ethiopias-blockchain-deal-is-a-watershed-moment-for-the-technology-and-for-africa-160719>.
- « A digital roadmap for the developing world », Blavatnik School of Government, Blavatnik School of Government website, June 24, 2020, <https://www.bsg.ox.ac.uk/news/digital-roadmap-developing-world>.
- « Ethiopian Education Minister Confirms Cardano Blockchain Partnership », Anna Baydakova & Marc Hochstein, coindesk.com, April 30, 2021, <https://www.coindesk.com/ethiopian-education-minister-confirms-cardano-blockchain-partnership>.

coindesk.com/business/2021/04/30/ethiopian-education-minister-confirms-cardano-blockchain-partnership/.

- « Powering the Trust Economy », Atala Prism, retrieved 9 May 2022. <https://atalaprism.io/app>

- « Woleet : Fournisseur d'accès à la vérité numérique », Vincent Barat, Gilles Cadignan, Livre blanc, 30 Juin 2017. <https://woleet.io>

- « Onfido's Identity Fraud Report 2020 », <https://onfido.com/landing/fraud-report-2020/>

- « La blockchain pour certifier des documents personnels », Philippe Richard, 4 mars 2021. <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/la-blockchain-pour-certifier-des-documents-personnels-90033/>

- « Notre Manifeste », Archipels, consulté le 9 mai 2022, <https://en.archipels.io/notre-manifeste>.

- « Q&A with Gravity's lead engineer: François Guérin », Shiya Zhang, september 23, 2021. <https://medium.com/gravity-earth>

- Privacy by design, The 7 foundational principles, Ann Cavoukian, Privacybydesign.ca, Jan 2011, <https://www.ipc.on.ca/wp-content/uploads/resources/7foundationalprinciples.pdf>

- « Gravity, Tykn advancing interoperability of two decentralized identity solutions for the humanitarian sector », Charissa Ng Svenningsen, July 27, 2021. [medium.com/gravity-earth/](https://medium.com/gravity-earth)

- « Building the Future of Digital Lending », The Digital Lenders Association of Kenya, retrieved May 9 2022.dlak.co.ke/

- « State of Digital Lending in Kenya - 2021 », Reel Analytics Ltd, August 2021. <https://www.dlak.co.ke/uploads/1/9/8/3/19835783/2021-reelanalytics-digital-lending-research-report.pdf>

- « Gravity: A Decentralized Solution To Create Trusted Private Digital Identities For Real-Life Use On Tezos », Allen Walters, April 17, 2021. <https://xtz.news/latest-tezos-news/gravity-a-decentralized-solution-to-create-trusted-digital-identities-for-real-life-use/>

- Thibault Langlois-Berthelot. Proposition d'une taxonomie française pour l'identité décentralisée. Publié le 22 octobre 2021, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03398096>

- « Ways blockchain can deactivate Facebook, Apple and Google's business models, per goldman », Tiernan Ray, The Technology Letter, December 20, 2021. <https://www.thetechnologyletter.com/the-posts/ways-blockchain-can-deactivate-facebook-apple-and-googles-business-models-per-goldman>

- « Are Mozilla, Apple, Google opposing user control over identity ? | Billionaire kicks off effort to challenge social networks with « distributed » identity », Privacy Beat, September 24, 2021. <https://itega.org/2021/09/24/why-mozilla-is-opposing-user-control-over-identity-billionaire-kicks-off-effort-to-challenge-social-networks-with-distributed-identity/>

- « Verifiable Credentials Data Model v1.1 Expressing verifiable information on the Web W3C Recommendation » November 9, 2021. <https://www.w3.org/TR/vc-data-model/>
- Perrine de Coëtlogon, Marc Durand, Maxime Jeantet, Claire Génin, Romuald Ramon, et al.. Les technologies blockchain au service du secteur public. [Rapport de recherche] Université de Lille (2018- ..). 2021. fffhal-03232816v2f <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03232816/document#page=50>
- Ameyaw,P.D.;deVries, W.T. Toward Smart Land Management: Land Acquisition and the Associated Challenges in Ghana. A Look into a Blockchain Digital Land Registry for Prospects. *Land* 2021, 10, 239. <https://doi.org/10.3390/land10030239>

2. MONNAIES ÉLECTRONIQUES PAIR-À-PAIR & ARGENT PROGRAMMABLE

- « Bitcoin : un système de paiement électronique pair-à-pair », Satoshi Nakamoto, bitcoin.org, consulté le 10 mai 2022, https://bitcoin.org/files/bitcoin-paper/bitcoin_fr.pdf
- The Crypto-Currency Bitcoin and its mysterious inventor. By Joshua Davis October 3, 2011 *The Crypto-Currency | The New Yorker*
- Demirguc-Kunt, Asli; Klapper, Leora; Singer, Dorothe; Ansar, Saniya; Hess, Jake. 2018. « Base de données Global Findex 2017 : Mesurer l'inclusion financière et la révolution technico-financière ». Washington, DC - World Bank. openknowledge.worldbank.org License: CC BY 3.0 IGO.
- « L'inclusion financière et les ODD », Nations Unies,<https://www.uncdf.org/fr/financial-inclusion-and-the-sdgs>
- « Les envois de fonds, une bouée de sauvetage », Nations Unies, consulté le 10 mai 2022, <https://www.un.org/fr/observances/remittances-day>
- Dilip Ratha, Eung Ju Kim, Sonia Plaza, and Ganesh Seshan. 2021. « Migration and Development Brief 34: Resilience: COVID-19 Crisis through a Migration Lens. » KNO-MAD-World Bank, Washington, DC. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO
- Dilip Ratha, Eung Ju Kim, Sonia Plaza, and Ganesh Seshan. 2021. « Migration and Development Brief 34: Resilience: COVID-19 Crisis through a Migration Lens. » KNO-MAD-World Bank, Washington, DC. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO
- « Money transfers to Venezuela, Remittance Flows Amidst Evolving Foreign Exchange », Manuel Orozco Kathryn Klaas, May 2020, thedialogue.org.
- « El Salvador's new bitcoin plan could cost money providers like Western Union and others \$400 million a year, says President Bukele », MacKenzie Sigalos, Sep 17 2021, cnbc.com.
- « Africa's mobile money taxes may drive the poor out of the digital economy », Kent Mensah, Nita Bhalla, June 5, 2022. <https://www.news24.com/citypress/business/afri->

- cas-mobile-money-taxes-may-drive-the-poor-out-of-the-digital-economy-20220605
- « The 2021 Geography of Cryptocurrency Report » Analysis of Geographic Trends in Cryptocurrency Adoption and Usage, Oct 2021, go.chainalysis.com.
 - « ‘Smallest cryptocurrency economy,’ Africa records 1200% hike in a year », Shubham Pandey, Sep 16, 2021, ambcrypto.com
 - « Cette finance qui veut changer le monde », Myret Zaki, 16 novembre 2020. <https://www.bilan.ch/finance/cette-nance-qui-veut-changer-le-monde>
 - « Qu'est-ce qu'un graphe orienté acyclique (DAG) dans le domaine des crypto-actifs ? », Binance Academy, Binance Academy website, Jul 19 2020, <https://academy.binance.com/fr/articles/what-is-a-directed-acyclic-graph-dag-in-cryptocurrency>
 - « What is Fantom ? », Fantom, Fantom website, retrieved May 10 2022, <https://fantom.foundation/fantom-faq/>
 - « Celo », Crunch Base, Crunch Base website, retrieved May 10 2022, <https://www.crunchbase.com/organization/celo-3846>
 - « Comprendre le Lightning Network », Yorick de Mombynes, Institut Sapiens, 23 juin 2020. <https://www.institutsapiens.fr/wp-content/uploads/2020/06/Comprendre-le-Lightning-network.pdf>
 - « The Bitcoin Lightning Network: Scalable Off-Chain Instant Payments », Thaddeus Dryja & Joseph Poon, Lightning Network Website, Jan 14 2016, <https://lightning.network/lightning-network-paper.pdf>
 - « Announcing Taro: A New Protocol for Multi-Asset Bitcoin and Lightning », Ryan Gentry, April 5, 2022. <https://lightning.engineering/posts/2022-4-5-taro-launch/>
 - « Number of People Go Up, or Bitcoin as the World’s Protocol of Value », Elizabeth Stark, April 5, 2022. https://medium.com/@lightning_labs/number-of-people-go-up-or-bitcoin-as-the-worlds-protocol-of-value-d1df7cefca37
 - Lightning Network Search and Analysis Engine: <https://1ml.com>. retrieved June 1, 2022.
 - « L'ingéniosité et l'inventivité du Lightning Network sont stupéfiantes », Rémy Demichelis, lesechos.fr, 25 août 2021. <https://investir.lesechos.fr/marches/bitcoin-crypto-actifs/l-expert-l-ingeniosite-et-l-inventivite-du-lightning-network-sont-stupefiantes-1977196.php>
 - « The State of Lightning », Arcane Research, October 5, 2021. <https://arcane.no/research/reports/the-state-of-lightning>
 - « What Is Decentralized Finance ?: A Deep Dive by The Defiant », Camila Russo, May, 2021. <https://coinmarketcap.com/alexandria/article/what-is-decentralized-finance>
 - DAO Maker - Whitepaper - 2019 <https://drive.google.com/file/d/1tPRMktnro-s6ifJLfvQkrT6mAmEJvUufT/view>
 - « The Top Five Ways the Dai Stablecoin Is Used Around the World » MakerDAO, MakerDAO website, Oct 23 2020 <https://blog.makerdao.com/the-top-five-ways-the-dai-stablecoin-is-used-around-the-world/>

- « MakerDAO Moves to Full Decentralization; Maker Foundation to Close in ‘Months’ The move by the protocol’s home office has been long expected », Brady Dale, September 14, 2021, <https://www.coindesk.com/tech/2021/07/20/makerdao-moves-to-full-decentralization-maker-foundation-to-close-in-months/>
- « Introduction to Ox », Ox, retrieved May 10 2022, <https://0x.org/docs/core-concepts>
- « What is Bloom ? », Bloom, retrieved May 10 2022, <https://faq.bloom.co/article/5-what-is-bloom>
- « How TrafiGuard uses Bloom to Provide SME Financing on the Blockchain », David Raphael March 17, 2021, <https://bloom.co/blog/how-trafiguard-uses-bloom-to-provide-sme-financing-on-the-blockchain/>
- « Le numérique au secours des monnaies locales et complémentaires », Bénédicte Martin, Netcom, journals.openedition.org, 18 décembre 2018, consulté le 15 décembre 2021.
- « Le Léman, concrètement ? » <https://monnaie-leman.org/le-leman-concretement>
- Before Grassroots Economics fully went digital they built Community Currencies using paper vouchers from 2010 to 2018 in Kenya. Their MOOC gives some explanation on how and why they did that. How to build your own currency system.
- « Karibu to Grassroots Economics » Docs », Grassroots Economics, Grassroots Economics Website, retrieved May 10 2022, <https://docs.grassecon.org/>
- « Karibu to Grassroots Economics », Grassroots Economics, Grassroots Economics Website, retrieved May 10 2022, <https://docs.grassecon.org/>
- « Community Currencies as Crisis Response: Results From a Randomized Control Trial in Kenya » www.frontiersin.org Rebecca Mqamelo* Minerva University, San Francisco, CA, United States, January 3, 2022. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbloc.2021.739751/full#h1>
- « Make Insurance Fair and Accessible », Ethersic, Ethersic website, retrieved May 10 2022, etherisc.com/
- « Reunion with our Partners In Nairobi: A recap of Etherisc’s week in Kenya », Etherisc, blog.etherisc.com
- « Reimagining agriculture insurance using blockchain technology », Jean Eyase, Acreafrica.com, November, 11 2021. <https://acreafrika.com/reimagining-agriculture-insurance-using-blockchain-technology/>
- « Who we are », ACRE Africa, ACRE Africa website, retrieved May 10 2022, <https://acreafrika.com/>
- « Chaining data feeds », Chainlink, Chainlink website, retrieved May 10 2022, data.chain.link/
- « Climate Action and Governance with Climate Ledger Initiative », INATBA, June 1, 2021. <https://inatba.org/reports/climate-action-governance-challenge/>
- Etherisc onboards 17K Kenyan farmers covered by blockchain-based crop insurance, Turner Wright, cointelegraph.com Jul 21, 2021. <https://cointelegraph.com/news/etherisc-onboards-17k-kenyan-farmers-covered-by-blockchain-based-crop-insurance>

- risc-onboards-17k-kenyan-farmers-covered-by-blockchain-based-crop-insurance
- « Revenu de Base », Novethic, Site Web de Novethic, consulté le 10 mai 2022, <https://www.novethic.fr/lexique/detail/revenu-de-base.html>
 - « Baza Coin », Baza Foundation, Baza Foundation website, retrieved May 10 2022, <https://baza.foundation/>
 - « About Trustlines », Trustlines, Trustlines website, retrieved May 10 2022, <https://trustlines.network/>
 - « A basic income system for communities », Join Circles, Join Circles website, retrieved May 10 2022, <https://joincircles.net/>
 - « If you can text, you can crypto », Valora, Valora website, retrieved May 10 2022, <https://valoraapp.com/fr>
 - Impact Market Github : <https://github.com/impactMarket/impact-market-smart-contracts>
 - « The GoodDollar Basic Income Economy », Gooodollar.org, retrieved May 17, 2022, <https://whitepaper.gooodollar.org/the-gooodollar-basic-income-economy#staking-for-good>
 - « Good Dollar – The Visible Hand », Yoni Assia, November 28, 2008, retrieved May 17, 2022 <https://yoniassia.com/good-dollar-the-visible-hand/>
 - How Raise works to help prepare your startup for investment », Marvin Coleby (CEO), Intercom website, retrieved 10 May 2022, <https://intercom.help/raise/en/articles/3665904-what-is-raise>
 - « Crypto crowdfunding platform launches DEX for project-specific tokens », Connor Sephton, Cointelegraph website, May 24 2021, <https://cointelegraph.com/news/crypto-crowdfunding-platform-launches-dex-for-project-specific-tokens>
 - « Tecra Space Warsaw », Krzysztof Bochenek, PO Poland, Jan 20 2021, <https://www.24-7pressrelease.com/press-release/478789/europe-is-gearing-up-for-the-blockchain-revolution-altcoins-on-the-rise>
 - « The Future of Crowdfunding Creative Projects », Perry Chen & Aziz Hasan, Kickstarter website, Dec 09 2021, <https://www.kickstarter.com/articles/the-future-of-crowdfunding-creative-projects>
 - « Specialty Coffee » EthicHub, retrieved May 10 2022, <https://shop.ethichub.com/en>
 - « Why did we start using xDai in EthicHub ? », Equipo EthicHub, EthicHub website, retrieved May 10 2022, <https://help.ethichub.com/hc/en-us/articles/360013429458-Why-did-we-start-using-xDai-in-EthicHub->
 - « Inversión de Impacto Protegida », EthicHub, retrieved May 10 2022, <https://www.ethichub.com/>
 - « Impact Tokens: A blockchain-based solution for impact investing », David Uzsoki, Patrick Guerda, International Institute for Sustainable Development | IISD.org, <https://www.iisd.org/system/files/publications/impact-tokens.pdf>
 - « Impact Tokens: A blockchain-based solution for impact investing », David Uzsoki,

- Patrick Guerda, International Institute for Sustainable Development | IISD.org, <https://www.iisd.org/system/files/publications/impact-tokens.pdf>
- IXO Foundation White Paper, retrieved May 20, 2022, <https://www.ixo.world/white-paper>
 - Ocean Protocol: <https://coinmarketcap.com/fr/currencies/ocean-protocol/>
 - Abbreviated White Paper — Proof of Impact Fleur Heyns <https://medium.com/proofofimpact/abbreviated-white-paper-proof-of-impact-89096c307204>
 - « Sustainable Digital Finance for the next billion », Hivenetwork, Hivenetwork website, retrieved May 10 2022, <https://www.hivenetwork.online/>
 - « The State of the World's Cash 2020 », José Jodar, Anna Kondakhchyan, Ruth McCormack, Karen Peachey, Laura Phelps, Gaby Smith, CalpNetwork website, Jul 23 2020, calpnetwork.org.
 - « A digital solution for savings groups: vsla.online », Hive Network, <https://www.hivenetwork.online/rethinking-vsla-community-finance/>
 - « Building Credit History through Financial Reputation », Hivenetwork, Hivenetwork website, retrieved May 10 2022, <https://www.hivenetwork.online/financialreputation/>
 - « Enhancing agricultural cooperatives and rural livelihoods: myCoop.online », retrieved May 13, 2022, <https://www.hivenetwork.online/agricultural-cooperatives/>
 - Solve, an initiative of the Massachusetts Institute of Technology (MIT): hiveonline.mit.edu/challenges/digital-inclusion/solutions/48750
 - Hive Network, Agricultural Cooperatives: <https://www.hivenetwork.online/agricultural-cooperatives/>
 - « Qu'est-ce qu'Ethereum ? », Simon Polrot, Ethereum France, 14 février 2016, consulté le 17 mai 2022. <https://www.ethereum-france.com/quest-ce-que-leethereum/>
 - « Le Krach a balayé les petits porteurs », Leo Schwartz et Abubakar Idris, Rest of World in Courrier International, n°1649 du 9 au 15 juin 2022.

3. SANTÉ

- « Le grand écart entre Gaia-X et le Health Data Hub », Jacques-André Fines Schlumberger -N°54bis-55 Automne 2020 <https://la-rem.eu/2020/12/le-grand-ecart-entre-gaia-x-et-le-health-data-hub/>
- « Blockchain dans la pharma: les promesses s'envolent, les cas d'usage restent », Léo Caravagna, TicPharma, 5 janvier 2021. ticpharma.com.
- « Commercially Successful Blockchain Healthcare Projects: A Scoping Review. », Fang, H. S. A, Blockchain in Healthcare Today, 4. 2021, <https://doi.org/10.30953/bhty.v4.166>
- « P2P Foundation Forum Posts », <https://www.bitcoin.com/satoshi-archive/forum/p2p-foundation/#selection-13.1-2.3>

- « Gestion décentralisée des documents médicaux des patients. Un système de recherche et d'accès aux données », Quantin Catherine, Coatrieux Gouenou, Fassa Maniane et al., Document numérique, 2009/3 (Vol. 12), p.23-35, <https://www.cairn.info/revue-document-numerique-2009-3-page-23.htm>
- « My Health - My Data », European Commission, retrieved May 16 2022, <https://cordis.europa.eu/project/id/732907>
- « Be-studys veut associer les patients à la recherche médicale », Sylvie Jolivet, Les Echos, 9 mai 2019, <https://www.lesechos.fr/pme-regions/innovateurs/be-studys-veut-associer-les-patients-a-la-recherche-medicale-1017207>
- « Business, éthique, légalité... Le séquençage de l'ADN en questions », Alexandre Léchenet, Le Monde, 18 août 2014, https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2014/08/18/le-sequencage-du-genome-comment-ca-marche_4472313_4355770.html
- « Une biotech chinoise lance le premier test génétique à 100 dollars », Fabrice Delaye, 27 février 2020, Heidi.news, heidi.news/
- « Big Data: Astronomical or Genomical ? », Stephens ZD, Lee SY, Faghri F, Campbell RH, Zhai C, Efron MJ, et al., PLoS Biol, 2015, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002195>
- Alghazwi, M., Turkmen, F., Velde, J. V. D., & Karastoyanova, D. (2021). Blockchain for Genomics: A Systematic Literature Review. arXiv. <https://arxiv.org/pdf/2111.10153>
- « 23andMe and Other Sites are Selling Users' Genetic Data: How Safe is Your DNA ? », Justin Roberti, Feb 28 2021, <https://hackernoon.com/23andme-and-ancestrycom-are-selling-users-genetic-data-how-safe-is-your-dna-x64k3330>
- « A Major Drug Company Now Has Access to 23andMe's Genetic Data. Should You Be Concerned ? », Jamie Ducharme, Time, Jul 26 2018, <https://time.com/5349896/23andme-glaxo-smith-kline/>
- « The biggest healthcare data breaches of 2021 », Kat Jercich, November 16, <https://www.healthcareitnews.com/news/biggest-healthcare-data-breaches-2021>
- « Database shares that transform research subjects into partners. », Kain, R., Kahn, S., Thompson, D. et al., Nat Biotechnology 37, 1112–1115, 2019, <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0278-9>
- « Ensuring auditability and immutability of actions with a distributed network. », Oasis Labs, retrieved 16 May 2022, oasislabs.com
- « Data privacy in the age of personal genomics », Kain, R., Kahn, S., Thompson, D. et al., Database shares that transform research subjects into partners, Nat Biotechnology 37, 1112–1115, 2019, <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0278-9>.
- « Take Control of your Genomic Data », Nebula Genomics, retrieved May 16 2022, nebula.org
- « Blockchain for Genomics: A Systematic Literature Review. », Alghazwi, M., Turkmen, F., van der Velde, J., & Karastoyanova, D., 2021, arXiv preprint

arXiv:2111.10153.

- « MultiChain For Developers », Multichain, retrieved May 16 2021, <https://www.multichain.com/developers/>
- « Blockchain technology applications in healthcare: An overview. », Abid Haleem, Mohd Javaid, Ravi Pratap Singh, Rajiv Suman, Shanay Rab, International Journal of Intelligent Networks, Volume 2, 2021, Pages 130-139, <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2021.09.005>.
- « Un essai clinique totalement virtuel est cent fois plus rapide qu'une étude classique », Robert Chu (Embleema) », Camille Boivigny, Mindhealth, 18 octobre 2022, mindhealth.fr.
- « Embleema met la blockchain au service de la pharmacovigilance », Wassinia Zirar, TicPharma, 12 Octobre 2018, <https://www.ticpharma.com/story/732>
- « Platform Features », Consilx, retrieved May 16 2022, <https://www.consilx.com/platforms-overview>
- An Open Bazaar for Drug Development: Molecule Protocol Paul Kohlhaas Jun 11, 2021 <https://medium.com/molecule-blog/an-open-bazaar-for-drug-development-molecule-protocol-a47978dd914>
- « Produits médicaux de qualité inférieure ou falsifiés », WHO, retrieved May 16 2022, <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/substandard-and-falsified-medical-products>
- « Blockchain technology in the pharmaceutical industry. », Schöner, M. M., Kourouklis, D., Sandner, P., Gonzalez, E., & Förster, J., 2017, Frankfurt, Germany: Frankfurt School Blockchain Center.
- « Drugledger: A Practical Blockchain System for Drug Traceability and Regulation. », Huang, Yan & Wu, Jing & Long, Chengnian., Cybermatics, IEEE Explore, 2018, [10.1109/Cybermatics_2018.2018.00206](https://doi.org/10.1109/Cybermatics_2018.2018.00206).
- « PharmaCrypt: Blockchain for Critical Pharmaceutical Industry to Counterfeit Drugs, », N. Saxena, I. Thomas, P. Gope, P. Burnap and N. Kumar, in Computer, vol. 53, no. 7, July 2020, pp. 29-44, doi: [10.1109/MC.2020.2989238](https://doi.org/10.1109/MC.2020.2989238)
- « Médicaments falsifiés: une nouvelle réglementation pour une meilleure sécurité des patients », European Commission, 8 Février 2019, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/IP_19_872
- « Comment Meditect a peaufiné sa solution de traçabilité du médicament avec UPSA », Aurélie Dureuil, MindHealth, 16 mars 2021, <https://www.mindhealth.fr/industrie/post-commercialisation/comment-meditect-a-peaufine-sa-solution-de-tracabilite-du-medicament-avec-upsa/>
- « Meditect: Saving lives with the blockchain », Cristoffer Harlos, Medium, Oct 17 2018, <https://medium.datadriveninvestor.com/meditect-saving-lives-with-the-blockchain-3124b364ae4e>
- « Meditect », Github, retrieved May 16 2022, https://github.com/Meditect/blockchain_

go /

- « What You Need to Know about the Drug Supply Chain Security Act », Rob Besse, Pharmexec, Mar 18 2020, <https://www.pharmexec.com/view/what-you-need-know-about-drug-supply-chain-security-act>
- « UNICEF Innovation Fund Graduate: Statwig », Sid Chakravarthy, Mar 30 2020, <https://www.unicef.org/innovation/fundgraduate/StaTwig>
- « The Ledger », GitHub, retrieved May 16 2022, <https://github.com/statwig-com/the-ledger>
- « Caracteristicas de LACChain », LACChain, retrieved May 16 2022, <https://www.lacchain.net/home?lang=en>
- Navigating the EBSI Use Cases Social security <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSI/Use+cases>

4. ENVIRONNEMENT & CLIMAT

- Crypto Climate Accord : <https://cryptoclimate.org/accord>. consulté le 31 mai 2022.
- « EU Emissions Trading System (EU ETS) »; European Commission, retrieved May 16 2022, https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en
- « Marchés du carbone > Le système européen d'échanges de quotas d'émissions de gaz à effet de serre (SEQE) », Ministère de la transition énergétique, 20 décembre 2021 <https://www.ecologie.gouv.fr/marches-du-carbone>
- « Cybernetic solutions for the distributed economy », Curve Labs, retrieved May 16 2022. <https://blog.curvelabs.eu>
- « Emissions Trading Worldwide: Status Report 2020. Berlin: International Carbon Action Partnership », ICAP, 2020, https://icapcarbonaction.com/system/files/document/200323_icap_report_web.pdf
- « Smart contracts of the Toucan Protocol », Github, retrieved May 16 2022. <https://github.com/ToucanProtocol/contracts>
- « Verified Carbon Units (VCUs) », Verified Carbon Standard, retrieved May 16, 2022. <https://verra.org/project/vcs-program/verified-carbon-units-vcus/>
- « Carbon On-Chained », Toucan Protocol, retrieved May 16 2022, <https://toucan.earth/>
- « The Celo Foundation, Climate Collective, and Toucan Collaboration Deepens to Bring ReFi to the Masses » Celo Foundation, Apr 11 2022. <https://medium.com/celorg/the-celo-foundation-climate-collective-and-toucan-collaboration-deepens-to-bring-refi-to-the-e714700b96d0>
- Nori, white paper, https://storage.googleapis.com/nori-prod-cms-uploads/white_paper_e567a48109/white_paper_e567a48109.pdf
- « A blockchain-based marketplace for removing carbon dioxide from the atmosphere. Version 3.0.1 », NORI, Feb 18 2019, <https://storage.googleapis.com/nori-prod-cms->

- uploads/white_paper_e567a48109/white_paper_e567a48109.pdf
- « Our Mission is to reverse Climate Change », NORI, retrieved May 16 2022, <https://nori.com/litepaper>
 - What is Klima DAO and How Does it Work ? <https://www.coingecko.com/buzz/what-is-klima-dao-and-how-does-it-work>
 - « Les Fonds activistes ont davantage choisi leurs cibles », Guillaume Bayre, Trading-Sat, 6 février 2022, <https://www.tradingsat.com/actualites/marches/en-2021-les-fonds-activistes-ont-davantage-choisi-leurs-cibles-1004759.html>
 - « KlimaDAO », Github, retrieved May 16 2022, <https://github.com/KlimaDAO/klima-dao>
 - « Enter : KlimaDAO », KlimaDAO, retrieved May 16 2022, <https://docs.klimadao.finance/#8b79>
 - « A blueprint for scaling voluntary carbon markets to meet the climate challenge », Christopher Blaufelder, Cindy Levy, Peter Mannion, and Dickon Pinner, McKinsey, Jan 29 2021, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/a-blueprint-for-scaling-voluntary-carbon-markets-to-meet-the-climate-challenge>
 - « CarbonABLE's First Mint: 160 NFTs restoring the forest at Banegas Farm! », CarbonABLE, May 3, 2022. <https://carbonable.medium.com/banegas-farm-reforesting-to-be-finance-by-carbonables-160-nfts-b4b36b5a4645>
 - « Learn about our approach and first prototype », Cambridge Center for Carbon Credit, retrieved May 16 2022, <https://4c.cst.cam.ac.uk/>
 - « Open Forest Protocol tackles climate change naturally », Julie Mollins, ForestNews, Apr 18 2022, <https://forestsnews.cifor.org/76905/blockchain-platform-offers-reforestation-efforts-access-to-carbon-finance>
 - « We All have the power to regreen the world » Greenworld, retrieved May 16 2022, <http://greenworld.org/>
 - « How will blockchain technology help fight climate change ? Experts answer. », Max Yakubowski, CoinTelegraph, Sep 05 2021 <https://cointelegraph.com/explained/how-will-blockchain-technology-help-fight-climate-change-experts-answer>
 - « A crypto-currency to reverse deforestation », GainForest, retrieved May 16 2022, <https://www.gainforest.net/>
 - « A crypto-currency to reverse deforestation », GainForest, retrieved May 16 2022, <https://www.gainforest.net/>
 - « Solana-Based Climate Change Project Employs ‘NFTrees’ to Save Rainforests », Ian Allison, Coindesk, Apr 21 2022 <https://www.coindesk.com/business/2022/04/21/solana-based-climate-change-project-employs-nftrees-to-save-rainforests/>
 - « Our Approach », Regen Network, retrieved May 16 2022, <https://www.regen.network/developers/>
 - « Regen Network Whitepaper. Version 1.3 », G. Booman, A. Craelius, B. Deriemeaker, G. Landua, W. Szal, B. Weinberg, Regen Network, Feb 15 2021, <https://re>

- gen-network.gitlab.io/whitepaper/WhitePaper.pdf
- « Regen Network Economics Technical Paper An Ecological Market-Commons, Secured by Proof-of-Stake. Version 0.2 », G. Landua, K. Birchard, W. Szal, Regen Network, Feb 16 2021, <https://regen-network.gitlab.io/whitepaper/Economics.pdf>
 - « Discover Ecocredits and NCT Basket tokens », Regen Registry, retrieved May 16 2022, <https://registry.regen.network>
 - « Plastic Bank », IBM, retrieved May 16 2022, <https://www.ibm.com/case-studies/plastic-bank-systems-linuxone>
 - « Decentralized Marketplace for recycled plastic materials », RPNDex, retrieved May 16 2022, <https://www.rpndex.com/>
 - « Blockchain Application in seafood value chains », Francisco Blaha, Kenneth Katafano, FAO, 2020, <https://www.fao.org/3/ca8751en/CA8751EN.pdf>
 - « Blockchain and the built environment.Version 1.2 », ARUP, Feb2019, <https://www.arup.com/>
 - « Member Spotlight: Civic Ledger, Digitally Transforming Water ». Jun 10 2020 Fin-tech Australia Newsroom Spotlight <https://www fintechaustralia org au/member-spotlight-civic-ledger-digitally-transforming-water/>
 - « How distributed ledger technology is revolutionizing water markets », Katrina Donaghay, Fraser MacLeod , WeForum, Jun 22 2021, <https://www.weforum.org/agenda/2021/06/distributed-ledger-technology-water-markets>
 - « EIP-1753: Smart Contract Interface for Licences », Ethereum Improvement proposals, retrieved May 16 2022, <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-1753>
 - « How distributed ledger technology is revolutionizing water markets », Katrina Donaghay, Fraser MacLeod , WeForum, Jun 22 2021, <https://www.weforum.org/agenda/2021/06/distributed-ledger-technology-water-markets>
 - « Carbon offsets used by major airlines based on flawed system, warn experts », Patrick Greenfield, May 4,2021. <https://www.theguardian.com/environment/2021/may/04/carbon-offsets-used-by-major-airlines-based-on-flawed-system-warn-experts>
 - « Carbon offsets are going primetime and they're not ready »Tim McDonnell, May 20, 2021. <https://qz.com/2009746/not-all-carbon-offsets-are-a-scam-but-many-still-are/>
 - « How our partner Wildsense monitors carbon sink restoration from space », CarbonABLE, June 3, 2022.<https://carbonable.medium.com/how-our-partner-wildsense-monitors-carbon-sink-restoration-from-space-86e3a4ca759>
 - « Top airlines' promises to offset flights rely on 'phantom credits' », Joe Sandler Clarke, Luke Barratt, May, 4, 2021. <https://unearthed.greenpeace.org/2021/05/04/carbon-offsetting-british-airways-easyjet-verra/>

5. CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT & LOGISTIQUE

- «Blockchain application in seafood value chains. », Francisco Blaha & Kenneth Katafalo, FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1207. Rome, FAO, 2020, <https://doi.org/10.4060/ca8751en>
- « Conceptualizing blockchains: characteristics & applications. », Karim Sultan, Umar-Ruhi, Rubinor Lakhani, 11th IADIS International Conference Information Systems, 2018.
- « Unfinished Paths—From Blockchain to Sustainability in Supply Chains. », Susanne Köhler, Massimo Pizzol and Joseph Sarkis, Frontiers in Blockchain, 2021
- « Loi type de la CNUDCI sur les documents transférables électroniques », Commission des Nations Unies pour le droit commercial international, Publication des Nations Unies 8 juillet 2017, https://uncitral.un.org/fr/texts/e-commerce/modellaw/electronic_transferable_records#:~:text=La%20Loi%20type%20sur%20les%20documents%20transf%C3%A9rables%20%C3%A9lectroniques%20s'appuie,CNUDCI%20sur%20le%20commerce%20%C3%A9lectronique
- « Des documents transférables électroniques à la blockchain », Usine-digitale.fr, 9 décembre 2021, <https://www.usine-digitale.fr/article/des-documents-transferables-electroniques-a-la-blockchain.N1167847>
- « Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2016-2025 », OCDE & FAO, Annuel ISSN : 19991150, 2016, <https://doi.org/10.1787/19991150>
- « Kenya's Twiga raises \$50M to scale food solutions across Africa », Tage Kene-Okafor, techcrunch.com, Nov 1 2021, <https://techcrunch.com/2021/11/01/kenyas-twiga-raises-50m-to-scale-affordable-food-solutions-across-africa/>
- « Consumer Expenditures-2020 », U.S. Bureau of Labor Statistics, Economic News Release, retrieved May 11 2022, <https://www.bls.gov/news.release/cesan.nr0.htm>
- « Revolutionizing African Retail », Twiga, retrieved May 11 2022, twiga.com
- « IBM Helps Kenyan Agriculture Flourish On Twiga Blockchain », Steve Kaaru, Cryptobriefing, Dec 15 2018 <https://cryptobriefing.com/ibm-kenya-agriculture-twiga-blockchain/>
- « Governing extractive industries. Politics, histories, ideas », Abdul-Gafar Abdulai, Anthony Bebbington, Denise Humpreys Bebbington, Marija Hinfelaar, Cynthia Sanborn (Eds.), Oxford Univ. Press, Oxford , 2018.
- « Data-driven, data-dependent: Blockchain in the Mining Industry », Christian Ecker, MineSpider, Jun 8 2021, minespider.com/blog,
- « Tracing the supply chain with Circulor », Kim Zou and Sophie Purdom, Climate Tech VC, Jun 11 2021 <https://climatetechvc.substack.com/p/-tracing-the-supply-chain-with-circulor?r>
- « Trafigura and Circulor to provide carbon emissions tracking and traceability via blockchain to nickel and cobalt supply chains », Circulor, retrieved May 11 2022, circu-

lor.com

- « Blockchain technology to power De Beers' diamond production », Gareth Jenkinson, May 06, 2022. <https://cointelegraph.com/news/blockchain-technology-to-power-de-beers-diamond-production>
- « Data-driven, data-dependent: Blockchain in the Mining Industry », Christian Ecker, Minespider, Jun 8 2021 <https://www.minespider.com/blog/data-driven-data-dependent-blockchain-in-the-mining-industry>
- « Minespider partners with Google for tin blockchain traceability », Ledger Insights, Nov 23 2020, [ledgerinsights.com.](https://ledgerinsights.com/)
- « Lead the Shift to sustainable supply chains, MineSpider, retrieved May 11 2022. <https://www.minespider.com/>
- « Minespider secures EIT RawMaterials Booster funding to develop responsible mineral tracking », Eit Raw Materials, Sep 22 2020, <https://eitrawmaterials.eu/minespider-secures-eit-rawmaterials-booster-funding-to-develop-responsible-mineral-tracking/>
- « Recap: OECD Forum on Responsible Mineral Supply Chains », Peerledger, retrieved Apr 27 2022, <https://www.peerledger.com/>
- « Blockchain Guidelines », Responsible Minerals Initiative, retrieved May 11 2022, responsiblemineralsinitiative.org/
- « Digital extraction: Blockchain traceability in mineral supply chains », Matthew Archer, Filipe Calvão, Political Geography Volume 87, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102381>.
- « In pictures: Illegal logging in Peru », BBC, Sep 4 2014, <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-28926270>
- « Few Words about us », Resource Extraction Monitoring, retrieved May 11 2022, <https://rem.org.uk/>
- « Développement d'un système de traçabilité pilote du charbon de bois durable et légal basé sur la technologie blockchain », FAO-EU FLEGT Programme, 2019-2021, <https://www.fao.org/in-action/eu-fao-flegt-programme/our-projects/en/#/web/project/5b3a4e155bb93e49b83bf5ef>
- « La technologie blockchain pour la bonne gouvernance du charbon de bois en Côte d'Ivoire », Eulalie Guillaume, Résumé exécutif du projet pilote, Avril 2021.
- « Côte d'Ivoire », GIZ, retrieved May 11 2022, <https://www.giz.de/en/worldwide/346.html>
- « Can Blockchain Fix the Chocolate Industry's Labor Issues ? », Jill Ettinger, Mar 24 2022, <https://www.greenqueen.com.hk/blockchain-cocoa-labor-issues/>
- « Koa taking transparency to the next level with seedtrace », Seed Trace, retrieved May 11 2022, https://seedtrace-website.cdn.prismic.io/seedtrace-website/5270d7b5-7a21-408e-8661-beed0de6dd7e_Seedtrace_CaseStudy_KOA_01-zusammenf%C3%BCgt%2B%281%29.pdf
- « Virtual reality adapting coffee supply chains to covid-19 », Topl, retrieved June 14

- 2022, [https://uploads-ssl.webflow.com/60f98f46d44e675abb7e66ea/611c66dff0c7e-5f1ea9f7710_60776766cd67dd8cf4206c5_Final%20Whitepaper%20\(1\).pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/60f98f46d44e675abb7e66ea/611c66dff0c7e-5f1ea9f7710_60776766cd67dd8cf4206c5_Final%20Whitepaper%20(1).pdf)
- « Fair Trade : Frequently Asked Questions (FAQ) », Fairtrade, retrieved May 11 2022, <https://www.fairtrade.net/about/faq>
 - « Les contrôles en pratique », Fair Trade/ Max Havelar, retrieved May 11 2022, <https://maxhavelaarfrance.org/le-commerce-equitable/certification-et-controle>
 - « Koa and seedtrace take transparency to the next level, using blockchain », Seedtrace, retrieved May 11 2022, <https://seedtrace.org/case-study-with-koa>
 - « Cotton », WWF Sustainable Agriculture, retrieved May 11 2022, <https://www.worldwildlife.org/industries/cotton>
 - Bullón Pérez, Juan J., Araceli Queiruga-Díos, Víctor Gayoso Martínez, and Ángel Martín del Rey. 2020. « Traceability of Ready-to-Wear Clothing through Blockchain Technology » Sustainability 12, no. 18: 7491. <https://doi.org/10.3390/su12187491>
 - « TE-FOOD, Eurofins, and GE Aviation cooperate to offer end-to-end Covid-19 testing process solution for corporate customers », TE-FOOD, Sep 14 2020, Medium, <https://medium.com/te-food/te-food-eurofins-and-ge-aviation-cooperate-to-offer-end-to-end-covid-19-testing-process-solution-9956b69f388c>
 - « How Twiga Foods reduces the price of food in Nairobi using technology », Twiga, Lincoln, Nov 1 2021, retrieved May 11 2022, <https://twiga.com/?p=3546>
 - « Our solution », Wood Transfer Protocol Project, retrieved May 11 2022, <https://wtp-project.com/solution.php>
 - « Blockchain for Climate Action and the Governance Challenge », INATBA's 2021 report, <https://inatba.org/reports/climate-action-governance-challenge/>
 - « Des NFTs en logistique ? », Quentin de Beauchesne, 18 mai 2021. <https://ownest.io/news/nft-month-nfts-logistique>
 - « Supporting Information - Unfinished Paths—From Blockchain to Sustainability in Supply Chains », Susanne Köhler, Massimo Pizzol and Joseph Sarkis, Frontier in Blockchain, 2021, doi: 10.3389/fbloc.2021.720347
 - « L'impact environnemental de la mode et de la fast-fashion », Valentine Ambert, Youmatter, 16 février 2021. <https://youmatter.world/fr/impact-environnemental-mode-fast-fashion-textile-pollution-environnement/>
 - « 8 Food Traceability Predictions for 2020 », TE-Food, retrieved May 11 2022, <https://te-food.com/8-food-traceability-predictions-for-2020/>

6. AGRICULTURE & ALIMENTATION

- « Avec près de 40 % de la population active mondiale, l'agriculture est le premier pourvoyeur d'emplois de la planète », Momagri, Terre-Net, 1er Septembre 2012, <https://www.terre-net.fr/actualite-agricole/economie-social/article/avec-pres-de-40-de-la-population-active-mondiale-l-agriculture-est-le-premier-pourvoyeur-d-emploi-202-78960.html>
- « Agriculture et alimentation », Banque Mondiale, Oct 4 2021, <https://www.banque-mondiale.org/fr/topic/agriculture/overview>
- « World Population Prospects. Key Findings and Advance Tables », United Nations, 2015, https://population.un.org/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf
- « About FAO », FAO, retrieved May 19 2022, <https://www.fao.org/about/en/>
- « Suivi des progrès des indicateurs des ODD liés à l'alimentation et à l'agriculture 2021 », FAO, 2021, <https://www.fao.org/sdg-progress-report/2021/fr/>
- « L'agriculture française, l'une des plus réglementées au monde », MédiasTerre, consulté le 21/06/2022, <https://www.mediaterre.org/actu,20210910090956,2.html>
- « Politique Agricole Commune 2023-2027 », Conseil Européen, consulté le 21 juin 2022, <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/cap-future-2020-common-agricultural-policy-2023-2027/>
- « Horizon Europe: faire en sorte que les investissements de l'UE dans l'innovation et la recherche aient un impact », Commission européenne, retrieved Jul 21 2022, <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/horizon-europe/#:~:text=La%20Commission%20européenne%20a%20proposé,euros%20supplémentaires%20du%20Fonds%20InvestEU>
- Un pacte vert pour l'Europe, Commission européenne, retrieved Jul 21 2022, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr
- « The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism explained », European Commission, retrieved Jun 21 2022, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_24,
- « De la ferme à la table : comment l'UE veut verdier nos assiettes », Valentin Ledroit, Toute l'Europe.eu, 27 octobre 2021, <https://www.touteurope.eu/agriculture-et-peche/de-la-ferme-a-la-table-comment-l-ue-veut-verdir-nos-assiettes/>
- « Research & innovation roadmap for blockchain technologies in the agri-food sector », European Commission, retrieved May 19 2022, <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl6-2021-farm2fork-01-07>
- « Système de Contrôle des Aliments », FAO, retrieved May 19 2022, <https://www.fao.org/food-safety/food-control-systems/fr/>
- « Food Safety », WHO, retrieved May 19 2022, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>

- « 28 février 1991, premier cas de vache folle en France », Ina.fr, 6 novembre 2007 / 24 février 2021, <https://www.ina.fr/ina-eclaire-actu/28-fevrier-1991-premier-cas-de-vache-folle-en-france>
- « 2013, le scandale de la viande de cheval dans les lasagnes éclate », Ina.fr, 16 avril 2019, <https://www.ina.fr/ina-eclaire-actu/2013-le-scandale-de-la-viande-de-cheval-dans-les-lasagnes-eclate>
- « Lait frelaté : la catastrophe sanitaire s'étend en Chine », Le Monde avec AFP, 16 septembre 2008, https://www.lemonde.fr/asie-pacifique/article/2008/09/16/le-scandale-du-lait-frelate-prend-de-l-ampleur-en-chine_1095986_3216.html
- « Deadly salmonella outbreak linked to papayas », Debra Goldschmidt, CNN, July 21, 2017, <https://edition.cnn.com/2017/07/21/health/papaya-salmonella-outbreak/index.html>
- « L'épidémie de listériose déclenche un vent de panique en Afrique australe », Jean-Philippe Rémy, Le Monde, 6 mars 2018, https://www.lemonde.fr/afrique/article/2018/03/06/l-epidemie-de-listeriose-declenche-un-vent-de-panique-en-afrique-du-sud_5266570_3212.html
- « Bactérie « E. coli » dans des pizzas Buitoni : une information judiciaire ouverte », Le Monde avec AFP, 12 mai 2022, https://www.lemonde.fr/societe/article/2022/05/12/bacterie-e-coli-dans-des-pizzas-buitoni-une-nouvelle-information-judiciaire-ouverte_6125876_3224.html
- « Singapore is betting blockchain can cure its food safety crisis », Connor Sephton, ModernConsensus, Aug 27 2020, <https://modernconsensus.com/technology/singapore-is-betting-blockchain-can-cure-its-food-safety-crisis/>
- « Reach new heights with Nuls », Nuls, retrieved Jul 21 2022, <https://nuls.io/>
- « Codex Alimentarius », FAO, retrieved Jul 21 2022, <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/fr/>
- « From 7 days to 2 seconds: Blockchain can help speed trace-back, improve food safety & reduce waste », Elizabeth Crawford, Food Navigator - USA, Nov 6 2018, <https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2018/11/06/From-7-days-to-2-seconds-Blockchain-can-help-speed-trace-back-improve-food-safety-reduce-waste>
- « The FDA New Era of Smarter Food Safety Low- or No-Cost Tech-Enabled Traceability Challenge », FDA, Precision FDA, retrieved May 19 2022, <https://precision.fda.gov/challenges/13/results;%20accessed%2012-01-2021>
- « The FDA New Era of Smarter Food Safety Low- or No-Cost Tech-Enabled Traceability Challenge », FDA, Precision FDA, retrieved May 19 2022, <https://precision.fda.gov/challenges/13/results;%20accessed%2012-01-2021>
- « TagOne is a groundbreaking Traceability Management System delivering radical transparency to the food and natural products supply chain, from seed to sale. », Tagone, retrieved May 19 2022, <https://www.tagone.com/>
- <?> « Wholechain - FDA New Era of Smarter Food Safety Low Cost / No Cost Tra-

- ceability Challenge Video », Envisible, YouTube, retrieved May 19 2022, <https://www.youtube.com/watch ?app=desktop&v=291VY5VGewY>
- « The Role of GS1 in blockchain based food traceability », TE-FOOD, Medium, May 25 2018, <https://medium.com/te-food/the-role-of-gs1-in-food-traceability-857c1a1d1642>
 - « Food Safety Law of the People's Republic of China (2015) », HFP Law & Intellectual Property, 2016, https://www.hfgip.com/sites/default/files/law/food_safety_-_16.02.2016.pdf
 - « Blockchain in food safety », IBM Food Trust, retrieved Jul 21 2022, <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/category/blockchain-in-food-safety/>
 - « Safe food – from fjord to table », Norwegian Sea Food Trust Alliance, retrieved Jul 20 2022, <https://norwegianseafoodtrust.no/>
 - « Deux tiers des consommateurs européens ont confiance dans leurs agriculteurs », Pour Nourrir Demain, 20 Janvier 2021, <https://www.pour-nourrir-demain.fr/deux-tiers-des-consommateurs-europeens-ont-confiance-dans-leurs-agriculteurs>
 - etude Kantar Protéines XTC et Gira pour le SIAL 2020,
 - « Huile de tournesol: l'étiquette doit refléter en temps réel la réalité des ingrédients et leurs origines », Yves Puget, LSA-conso, Apr 29 2022, <https://www.lsa-conso.fr/huile-de-tournesol-l-etiquette-doit-refleter-en-temps-reel-la-realite-des-ingredients-et-leurs-origines,410141>
 - « From shore to plate: Tracking tuna on the blockchain », Provenance, retrieved May 19 2022, <https://www.provenance.org/tracking-tuna-on-the-blockchain>
 - « Moral Food: A Fish's Trek From 'Bait to Plate' on the Ethereum Blockchain », Alyssa Hertig, Coindesk, May 13 2018, <https://www.coindesk.com/markets/2018/05/13/moral-food-a-fishs-trek-from-bait-to-plate-on-the-ethereum-blockchain/> (Viant est aujourd'hui appelée Treum)
 - « Walmart prévoit de suivre ses salades en utilisant la blockchain d'ici 2019 », Carine Kren, 25 setembre 2018, [courscryptomonnaies.com, https://courscryptomonnaies.com/actualite/walmart-prevoit-de-suivre-ses-salades-en-utilisant-la-blockchain-dici-2019](https://courscryptomonnaies.com/actualite/walmart-prevoit-de-suivre-ses-salades-en-utilisant-la-blockchain-dici-2019)
 - « ADM, Bunge, Cargill and Louis Dreyfus form partnership », Holly Demaree-Saddler, Oct 25 2018, [worldgrain.com, https://www.world-grain.com/articles/11148-adm-bunge-cargill-and-louis-dreyfus-form-partnership](https://www.world-grain.com/articles/11148-adm-bunge-cargill-and-louis-dreyfus-form-partnership)
 - « Alibaba en tête de la liste des brevets de la blockchain », Coinrivet, Sep 4 2018, <https://coinrivet.com/fr/alibaba-tops-blockchain-patents-list/>
 - « Wipro joins Bita to drive Blockchain adoption in the transportation industry », Wipro, Aug 30 2018, <https://www.wipro.com/newsroom/press-releases/2018/wipro-joins-bitato-drive-blockchain-adoption-in-the-transportation-industry/>
 - « Starbucks' Blockchain Allows Traceability to 380,000 Coffee Farms! », Peter Vogel, Foley & Lardner L&P, May 10 2019, <https://www.foley.com/en/insights/publications/2019/05/starbucks-blockchain-allows-traceability-farms>

- « Accelerating agri-tech to transform food systems », Swetha Kolluri, Krishnan S Raghavan, Rozita Singh, The Pioneer, Jan 10 2022, <https://www.dailypistarbucks.com/blockchain-allows-traceability-to-380000-coffee-farms-blogs-internet-it-e-discovery-blog-foley-lardner-llpioneer.com/2022/columnists/accelerating-agri-tech-to-transform-food-systems.html>
- « Hard-Hit Argentinian Farmers May Get Boost From Trading Platform for Tokenized Produce », Sebastien Sinclair, Coindesk, Jan 28 2021, <https://www.coindesk.com/tech/2021/01/28/hard-hit-argentinian-farmers-may-get-boost-from-trading-platform-for-tokenized-produce/>
- « Beyond net-zero emission in agriculture: Creating an enabling climate governance for agriculture », European Environmental Bureau, retrieved May 19 2022, <https://eeb.org/library/beyond-net-zero-emission-in-agriculture/>
- « Mesures agro-environnementales et climatique (MAEC) et aides à l'agriculture biologique », France, Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire, 11 mars 2022, <https://agriculture.gouv.fr/mesures-agro-environnementales-et-climatique-maec-et-aides-lagriculture-biologique>
- « Questions and Answers - The Effort Sharing Regulation and Land, Forestry and Agriculture Regulation », European Commission, July 14, 2021, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3543
- « Ajustement à l'objectif 55 », Conseil de l'Union Européenne, <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- « L'Union européenne a échoué à réduire les émissions de CO2 dans l'agriculture, selon la Cour des comptes », Belga, RTBF, 21 Juin 2021, https://www.rtbf.be/info/monde/europe/detail_l-union-europeenne-a-echoue-a-reduire-les-emissions-de-co2-dans-l-agriculture-selon-la-cour-des-comptes?id=10788603
- « Le Parlement européen donne son feu vert pour un régime de crédits carbone pour le secteur agricole », Cultiveille, Cultivar, Oct 14 2020, <https://www.cultivar.fr/sinformer/le-parlement-europeen-donne-son-feu-vert-pour-un-regime-de-credits-carbone-pour-le-secteur>
- « A blueprint for scaling voluntary carbon markets to meet the climate challenge », Christopher Blaufelder, Cindy Levy, Peter Mannion, and Dickon Pinner, McKinsey Sustainability, Jan 29 2021, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/a-blueprint-for-scaling-voluntary-carbon-markets-to-meet-the-climate-challenge>
- « Immune to irony, Nori puts a carbon market on the blockchain », Haje Jan Kamps, techcrunch.com, Feb 24 2022, <https://techcrunch.com/2022/02/24/nori-series-a-carbon-blockchain/>
- GREET, Argonne, retrieved Jul 20 2022, <https://greet.es.anl.gov>
- « Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II) », European commission, retrieved Jul 20 2022, <https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/refer>

- rence-regulatory-framework/renewable-energy-recast-2030-red-ii_en
- « Gevo and Farmers Edge Partner to Verify Sustainable Fuels from Low-Carbon Grain through Verity Tracking », Verity Tracking, retrieved Jul 20 2022, <https://www.veritytracking.com/news/gevo-and-farmers-edge-partner-to-verify-sustainable-fuels-from-low-carbon-grain-through-verity-tracking/>
 - « In a collaboration with google cloud, gevo to measure and verify the carbon intensity of biofuels across the supply chain utilizing verity tracking », Verity Tracking, retrieved Jul 20 2022, <https://www.veritytracking.com/news/in-a-collaboration-with-googlecloud-gevo-to-measure-and-verify-the-carbon-intensity-of-biofuels-across-the-supply-chain-utilizing-verity-tracking/>
 - « La filière CRC lance "traça-blé", une solution blockchain pour valoriser ses données de traçabilité », Référence Agro, 1er Mars 2022, <https://www.reference-agro.fr/innovation/la-filiere-crc-lance-traca-ble-une-solution-blockchain-pour-valoriser-ses-donnees-de-tracabilite/>
 - « Gavea Blockchain commodities exchange exceeds US\$ 2 billion in bids and offers », Redação Crania, Jun 21 2022, crania.com, <https://crania.com.br/2022/06/21/gavea-blockchain-commodities-exchange-exceeds-2-billion-in-bids-and-offers/>
 - « Blockchain Driven Agricultural Ecosystem », Agri10x, retrieved Jul 20 2022, <https://www.agri10x.com/>
 - « The global divide in data-driven farming », Natura Sustainability, Nov 2020 <https://www.nature.com/articles/s41893-020-00631-0>

7. WEB 3.0, ARTS & SCIENCES

- « Plenary at WWW Geneva 94 », Tim Berners Lee, 1994, w3.org, <https://www.w3.org/Talks/WWW94Tim/>
- « What is Web3 ? Here Are Some Ways To Explain It To A Friend », James Beck, Jan 12 2022, <https://consensys.net/blog/blockchain-explained/what-is-web3-here-are-some-ways-to-explain-it-to-a-friend/>
- « Le « Web3 » expliqué en quatre questions », Olivier Clairouin, 20 avril 2022 https://www.lemonde.fr/pixels/article/2022/04/20/le-web3-explique-en-quatre-questions_6122944_4408996.html
- « What is IFPS ? The hard drive for Blockchain », iCommunity, retrieved May 23 2022, <https://icommunity.io/en/what-is-ifps-the-hard-drive-for-blockchain/>
- « Persistence, permanence, and pinning », IPFS doc, retrieved Jul 21 2022, <https://docs.ipfs.io/concepts/persistence/#persistence-versus-permanence>
- « What is IPFS ? », Karan Kwatra, Mar 15 2018, retrieved May 23 2022, <https://medium.com/wolverineblockchain/what-is-ipfs-b83277597da5>
- « Ecosystem directory », IPFS, retrieved Jun 3 2022, <https://ecosystem.ipfs.io/?results=70>

- « The meaning of Decentralization », Vitalik Buterin, Medium, Feb 6 2017, <https://medium.com/@VitalikButerin/the-meaning-of-decentralization-a0c92b76a274>
- « How Does it work ? », The Safe Network, retrieved Jun 3 2022, <https://safe-network.tech/>
- « What is DAppNode ? », DAppNode, retrieved Jun 3 2022, <https://docs.dappnode.io/get-started/intro>
- « Global cloud services spend exceeds US\$50 billion in Q4 2021 », Canalys, Feb 3 2022, <https://www.canalys.com/newsroom/global-cloud-services-Q4-2021>
- « Le Cloud européen : de grands enjeux pour l'Europe et cinq scénarios avec des impacts majeurs d'ici 2027-2030 », Jacques-André Fines Schlumberger, La Revue Européenne des Médias et du Numérique -N°57-58 Printemps - été 2021, <https://la-rem.eu/2021/10/le-cloud-europeen-de-grands-enjeux-pour-leurope-et-cinq-scenarios-avec-des-impacts-majeurs-dici-2027-2030/>
- « Comparing the Economics of Centralized and Decentralized Cloud Storage », Christine Ackley, Storj, Jul 15 2021, <https://www.storj.io/blog/comparing-the-economics-of-centralized-and-decentralized-cloud-storage>
- « Quelles synergies entre les blockchains et les industries culturelles ? », Jacques-André Fines Schlumberger, *La Revue Européenne des Médias et du Numérique* -N°49 Hiver 2018-2019, <https://la-rem.eu/2019/03/quelles-synergies-entre-les-blockchains-et-les-industries-culturelles/>
- « Digital 2022: une nouvelle année de croissance exceptionnelle », We Are Social, retrieved Jun 3 2022, <https://wearesocial.com/fr/blog/2022/01/digital-2022-une-nouvelle-annee-de-croissance-exceptionnelle/>
- « Steem White Paper », Steem, Aug 2017, <https://steem.com/SteemWhitePaper.pdf>
- « Steem Developer Portal », Steem, retrieved Jun 3 2022, <https://developers steem.io>
- « A protocol for enabling smart, social currency for publishers and content businesses across the internet », Steem, Bluepaper, retrieved May 31 2022, <https://steem.com/steem-bluepaper.pdf>
- « Announcing the Launch of Hive Blockchain », hiveio, Mar 17 2020, retrieved May 31 2022, <https://peakd.com/communityfork/@hiveio/announcing-the-launch-of-hive-blockchain>
- « Decentralized Social Media with True ownership », Peakd, retrieved Jul 21 2022, <https://peakd.com/>
- « Welcome to Ecency », Ecency, retrieved Jul 21 2022, <https://ecency.com/>
- « A new model: the social blockchain », D-Tube, retrieved Jul 21 2022, <https://token.d.tube/>
- « How The Blockchain Can Solve Social Media's Biggest Problems » Sunny Dhillon, Forbes, Feb 28 2018, <https://www.forbes.com/sites/valleyvoices/2018/02/28/how-the-blockchain-can-solve-social-medias-biggest-problems>

- « Introducing \$AUDIO, The Audius Platform Token », Oct 8 2020, <https://medium.com/audius/introducing-audio-the-audius-platform-token-2c575215b439>. retrieved Jun 1 2022.
- « NFT », Jacques-André Fines Schlumberger, *La revue européenne des médias et du numérique*, N°57-58 Printemps - été 2021. <https://la-rem.eu/2021/07/nft/>
- « How Much Does Spotify Pay Per Stream ? Here's the Latest Data (Updated for 2022) », Dylan Smith, [digitalmusicnews.com/2020/08/17/how-much-does-spotify-pay-per-stream-latest/](https://www.digitalmusicnews.com/2020/08/17/how-much-does-spotify-pay-per-stream-latest/)
- « Mediachain an open, universal media library », Mediachain, retrieved Jun 21 2022, <http://docs.mediachain.io>
- « Audius », Audius, retrieved Jun 1 2022, <https://audius.co/>
- « L'industrie musicale, future victime de la Révolution blockchain ? Audius (Audio) au sommet des charts ! », Hellmouth Banner, Le Journal du Coin, 26 Octobre 2021, <https://journalducoin.com/actualites/audius-donne-le-tempo-dune-industrie-musicale-blockchainisee/>
- « Audius, la plateforme qui rémunère le mieux les artistes (et les auditeurs) ? », Cloé Gruhier, Hauméa Magazine, retrieved Jun 1 2022, <https://www.haumeamagazine.com/audius-la-plateforme-de-streaming-qui-remunere-le-mieux-les-artistes-et-les-audi-teurs/#:~:text=Audius%20est%20une%20plateforme%20de,%C3%A0%20la%20crypt%2Dmonnaie>
- « Audius, la plateforme qui rémunère le mieux les artistes (et les auditeurs) ? », Cloé Gruhier, Hauméa Magazine, retrieved Jun 1 2022, <https://www.haumeamagazine.com/audius-la-plateforme-de-streaming-qui-remunere-le-mieux-les-artistes-et-les-audi-teurs/#:~:text=Audius%20est%20une%20plateforme%20de,%C3%A0%20la%20crypt%2Dmonnaie>
- « How Inflow Created the First Music Platform for the Web3 Economy », Ivan Kreimer, Livepeer Video Services, May 26 2022, <https://livepeer.com/blog/how-inflow-created-first-music-platform-web3-economy>
- « The Real Greatest Hit: How Vezt Works », Vezt Inc, Medium, Sep 18 2017, <https://medium.com/@vezt/the-real-greatest-hit-how-vezt-works-cb66aef74d67>
- « Stem brings clarity to your modern music business », Stem, retrieved Jul 11 2022, <https://stem.is/>
- « The Real Greatest Hit: How Vezt Works », Vezt Inc, Medium, Sep 18 2017, <https://medium.com/@vezt/the-real-greatest-hit-how-vezt-works-cb66aef74d67>
- « Combining Music Rights with NFTs: Royal Raises Big Money », Carpenter WellingtonPLLC, Lexology, Dec 9 2021, <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=92d81306-ca86-47ca-b570-34ad16483039>
- « EIP-2981: NFT Royalty Standard », Zach Burks, James Morgan, Blaine Malone, James Seibel, Ethereum Improvement Proposals, Sep 15 2020, <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-2981>

- « EIP-2981: NFT Royalty Standard », Zach Burks, James Morgan, Blaine Malone, James Seibel, Ethereum Improvement Proposals, Sep 15 2020, <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-2981>
- « Who we are ? », Stednhal, retrieved Jun 3 2022, <https://stendhal.ai/>
- « Split revenues from sales and royalties in a cheap, efficient and transparent way. », Collab Splitter, retrieved Jun 21 2022, <https://collab-splitter.org/>
- « Une science engagée », IRD, retrieved Jul 21 2022, <https://www.ird.fr>
- « La recherche au service du développement, 17 objectifs pour un futur durable », 15 septembre 2020, <https://www.ird.fr/la-recherche-au-service-du-developpement-17-objectifs-pour-un-futur-durable>
- « A Guide to DeSci, the Latest Web3 Movement », Sarah Hamburg, future.com, Feb 9 2022, <https://future.com/what-is-decentralized-science-aka-desci>
- « We're a DAO collective funding and advancing longevity research », VitaDAO, retrieved Jun 21 2022, <https://www.vitadao.com/about>
- « Ants-Review: A Privacy-Oriented Protocol for Incentivized Open Peer Reviews on Ethereum. », Bianca Trovò, Massari Nazzareno, Jan 22 2021, Euro-Par 2020: Parallel Processing Workshops
- « How scientists are embracing NFTs », Nicola Jones, Nature n°594, Jun 18 2021, <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01642-3>
- « The World Wide Web's inventor sold its original code for \$5.4 million », Oscar Holland, CNN, retrieved Jun 21 2022, <https://edition.cnn.com/style/article/tim-berners-lee-nft-auction>
- « Non-Fungible Incentives for open innovation », Planck Manuscripts, retrieved Jun 21 2022, <https://www.p1anck.com/>
- « Open Source Science Manuscript 1 », Open Sea, <https://opensea.io/planck?tab=created>, retrieved Jun 21 2022
- « Launching the World's First Science NFT with Matt Stephenson from Planck », Unstoppable domains 62, Youtube, retrieved Jul 21 2022, <https://www.youtube.com/watch?v=U4Rnso2Vpi0>
- « Non-Fungible Incentives for open innovation », Planck Manuscripts, retrieved Jun 21 2022, <https://www.p1anck.com/>

8. ENERGIE

- « Powernext, marché réglementé de l'énergie : tout comprendre », Charlotte Martin, 4 octobre 2021. <https://opera-energie.com/powernext-comprendre/>
- « [Blockchain et énergie] Engie et Ledger inventent un boîtier pour automatiser la collecte de données », Floriane Leclerc, 9 novembre 2018. <https://www.usine-digitale.fr/article/blockchain-engie-et-ledger-inventent-un-boitier-pour-authentifier-les-donnees-en-entree.N767439>
- « Blockchain technology as the digital enabler to scale up renewable energy communities and cooperatives in Spain », Alice Zannini, Thesis, 2020, d'Utrecht University, <https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/36373?show=full>
- « La place des prosommateurs dans un réseau énergétique en pleine évolution » <https://cordis.europa.eu/article/id/303126-prosumers-in-the-changing-energy-grid/fr>
- PV-Prosumers4Grid : <https://www.pvp4grid.eu>
- « Our Work », RMI, retrieved May 16 2021, <https://rmi.org/>
- « We Build Grid-Aware Energy Markets », Grid Singularity, retrieved May 16 2022, <https://gridsingularity.com/>
- « What is behind the EWT tokens ? », TheLuWizz, Medium.com, Jun 26 2021, <https://medium.com/geekculture/what-is-behind-the-ewt-tokens-41b63cf8059b>
- « Validators Visualization », Energy Web, retrieved May 16 2022, <https://validators.energyweb.org/>
- Energy Web Foundation Map: <https://www.energyweb.org/project-map/>
- « Le joker de la production distribuée », RDT info, n°48, Magazine d'information sur la recherche européenne, Unité Information et Communication de la DG Recherche de la Commission européenne, février 2006, web.archive.org
- Distributed Energy Resources (DER), Barney L. Capehart, PhD, CEM College of Engineering, University of Florida Updated, Oct 20 2016, <https://www.wbdg.org/resources/distributed-energy-resources-der>
- « Marché intérieur de l'énergie » <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fr/sheet/45/marche-interieur-de-l-energie>
- Epex Spot: <https://www.epexspot.com/en/market-data>
- « What blockchain can do for power grids ? », Magda Foti, Manolis Vavasis, Blockchain: Research and Applications, Volume 2, Issue 1, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100008>.
- « Blockchain energy trading live in Scotland's Orkney Islands », Jonathan Spencer Jones, May 20 2020, <https://www.ledgerinsights.com/blockchain-energy-trading-live-scotland-orkney-islands/>
- Loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000813253/>
- « Certificats d'Economies d'Energie (CEE ou C2E) : le guide complet » Caroline Du-

- santer, 6 juin 2022. <https://opera-energie.com/certificats-economies-energie-cee/>
- European Energy Exchange <https://www.powernext.com/fr/fr>
 - Registre National des Certificats d'Economies d'Energie <https://www.emmy.fr/public/accueil>
 - Les certificats d'électricité verte (RECS) <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/energie-renouvelable-certificats-electricite-verte-recs-1430/>
 - D-REC <https://www.d-recs.energy/about-us/>
 - « Blockchain energy trading live in Scotland's Orkney Islands », Jonathan Spencer Jones, May 20, 2020 and October 22, 2021, <https://www.ledgerinsights.com/blockchain-energy-trading-live-scotland-orkney-islands/> <https://sustainablebrands.com/read/cleantech/from-silicon-valley-to-rural-africa-boosting-energy-access-with-the-d-rec-initiative>
 - « About us », The D-REC Initiative, retrieved May 16 2022, <https://www.d-recs.energy/wp-content/uploads/2021/12/Overview-of-the-D-REC-Initiative.pdf>
 - « UNDP Partners with D-REC Initiative to Scale Up Energy Access Through Innovative Investment Models », UNDP, Aug 3 2021, <https://www.undp.org/press-releases/undp-partners-d-rec-initiative-scale-energy-access-through-innovative-investment>
 - « Acciona Energia. Case study. », GreenH2Chain, retrieved May 16 2022, <https://www.flexidao.com/case-studies/green-h2-chain-by-accionae>
 - « Cofounder of blockchain-based solar power company explains what the technology means to the future of energy », Michael O'Neill, Business Insider, Apr 14 2021, [businessinsider.com](https://www.businessinsider.com)
 - « Power Ledger launches next generation blockchain, moves away from Ethereum », PowerLedger, Medium, Jul 12 2021, [medium.com](https://medium.com/power-ledger/blockchain-faqs-3549a9bdeb6a)
 - « Blockchain FAQs », Power Ledger, Sep 2 2021, Medium, <https://medium.com/power-ledger/blockchain-faqs-3549a9bdeb6a>
 - « BloombergNEF New Energy Outlook 2019 » <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>
 - « Blockchain – an opportunity for energy producers and consumers ? », PWC, 2016. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/assets/pwc-blockchain-opportunity-for-energy-producers-and-consumers.pdf>

9. GOUVERNEMENT & DÉMOCRATIE

- Primavera de Filippi, Morshed Mannan, Wessel Reijers. Blockchain as a confidence machine: The problem of trust & challenges of governance. *Technology in Society*, Elsevier, 2020, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03098449>
- « Rapport d'expérimentation Blockchain », Ville de Genève, consulté le 6 juillet 2022, <https://www.ge.ch/document/rapport-experimentation-blockchain>
- « Blockchain as an Information System in Chile: The Case of Open Energy Project - Chilean's Ministry of Energy », Stefania Paretí, Ignacia Núñez, *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*; Lousada N° E39, (Jan 2021): 554-568.
- « A 1st in Bengal, baby gets blockchained birth certificate », Udit Prasanna Mukherji, Suman Chakraborti, Times of India, Dec 20 2018, <http://timesofindia.indiatimes.com/articleshow/67170551.cms>
- « Indian State Government Will Issue Birth Certificates on a Blockchain», CCN, Oct 2 2020, <https://www.ccn.com/indian-state-government-will-issue-birth-certificates-on-a-blockchain/>
- Computer No. : 65981 Information technology department New Delhi municipal council, Palika Kendra: new delhi no. d-dfa/ Jan 25 2021, <https://www.medianama.com/wp-content/uploads/2021/06/New-Delhi-Blockchain.pdf>
- « About », OS City, retrieved Jul 6 2022, <https://www.os.city/>
- « Quintana Roo detectará pruebas falsas de Covid-19 con blockchain de Avalanche », Cancunissimo, 8 juillet 2021, <https://cancunissimo.mx/quintana-roo-detectara-pruebas-falsas-de-covid-19-con-blockchain-de-avalanche/>
- « Welcome to Multi-Verse », Avalanche, retrieved Jul 6 2022, <https://www.avax.network/>
- « Retiró congreso local sistema de blockchain por ser sobrecalificado para sus necesidades », Iriamna Caceres, QuintaFuerza, 11 octobre 2021, <https://quintafuerza.mx/quintana-roo/cancun/retiro-congreso-local-sistema-de-blockchain-por-ser-sobrecalificado-para-sus-necesidades>
- « Mexico fights black market for covid tests with avalanche blockchain », Quintana Roo, Jun 8 2021, <https://qroo.gob.mx/iqit/mexico-fights-black-market-covid-tests-avalanche-blockchain>
- « A floating Pacific island is in the works with its own government, cryptocurrency and 300 houses », Camille Bianchi, May, 18 2018, <https://www.cnbc.com/2018/05/18/floating-island-is-planned-with-government-cryptocurrency-and-houses.html>
- « Making a Crypto Utopia in Puerto Rico », Nellie Bowles, Feb 2 2018, <https://www.nytimes.com/2018/02/02/technology/cryptocurrency-puerto-rico.html>
- « Enter Pangea », Bitnation, retrieved Jul 6 2022, <https://tse.bitnation.co/>
- « Bitnation.co », Internet Archive, Mar 3 2019, <https://web.archive.org/web/20190303234601/https://tse.bitnation.co/>

- « La Blockchain au service des réfugiés », Audrey Bauer, Usbek&Rica, 11 août 2016, <https://usbeketrica.com/fr/article/la-blockchain-au-service-des-refugies>
- Bitnation documents, retrieved Jul 7 2022. <https://tse.bitnation.co/documents/>
- « The Netexplo Forum celebrated its 10th edition », UNESCO, May 5 2020, <https://en.unesco.org/news/netexplo-forum-celebrated-its-10th-edition>
- « Bitnation », ICOHolder, retrieved May 17 2022, <https://icoholder.com/fr/bitnation-3557>
- « Scuttlebutt », Scuttlebutt, retrieved Jul 6 2022, <https://scuttlebutt.nz/>
- « Bitnation », Github, retrieved May 17 2022, <https://github.com/Bit-Nation>
- « The Perils of Radical Co-Creation », Tristan Roberts, Medium, Mar 24 2018, <https://aitheric.medium.com/the-perils-of-radical-co-creation-40fe2458281e>
- « KSI Blockchain in Estonia », Estonian Government, 2020, <https://e-estonia.com/wp-content/uploads/2020mar-faq-ksi-blockchain-1-1.pdf>
- « Blockchain Designed for Supply Chains: Guardtime Supply Chain Framework », David Shorthouse, Michael Xie, Guardtime, Apr 2020, <https://m.guardtime.com/files/Blockchain%20Designed%20for%20Supply%20Chains%20%282%29.pdf>
- « Guardtime KSI Definitions and Abbreviations », Guardtime, Apr 2021, <https://m.guardtime.com/files/GT-KSI-DEF-v1.2-1.pdf>
- « There is no blockchain technology in X-Road », Petteri Kivimäki, Nordic Institute for Interoperability Solutions, Apr 26 2018, <https://www.niis.org/blog/2018/4/26/there-is-no-blockchain-technology-in-the-x-roade.com/document/d/1I4BS2zBSODEFrsoKi-TUymxjQsfI5tJFB/edit#>
- « Dubai Blockchain Strategy », Digital Dubai, retrieved Jul 21 2022, <https://www.digitaldubai.ae/initiatives/blockchain>
- « Smart Dubai turns 5 ! », Digital Dubai, Comprehensive Booklet, Jan 2021, https://www.digitaldubai.ae/docs/default-source/publications/sd_anniversary_booklet_5years_en.pdf?sfvrsn=818d909b_6
- « Emirates NBD leads banking sector in cheque security by successfully rolling out ‘Cheque Chain’ at scale », Emirates NBD, Apr 15 2018, https://www.emiratesnbd.com/en/media-centre/media-centre-info/?mcid_en=598
- Blockchain in the UAE government, United Arab Emirates, retrieved Jul 6 2022, <https://u.ae/en/about-the-uae/digital-uae/blockchain-in-the-uae-government>
- « Govchain », UAE, retrieved Jul 8 2022, <https://govchain.world/uae/>
- « Emirates Blockchain Strategy 2021 », GovChain, retrieved May 17 2022, <https://govchain.world/uae/ ; Inclusive Deployment of Blockchain: Case Studies and Learnings from the United Arab Emirates>, United Arab Emirates Center for the Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, Jan 2020, https://www3.weforum.org/docs/WEF_Inclusive_Deployment_of_Blockchain_Case_Studies_and_Learnings_from_the_United_Emirates.pdf
- « Abu Dhabi Digital Authority launches Blockchain based Abu Dhabi Pay », Unlock

BIBLIOGRAPHIE

- Media, May 5 2020, <https://www.unlock-bc.com/news/2020-05-05/abu-dhabi-digital-authority-launches-blockchain-based-abu-dhabi-pay/>
- « UAE Government adopts ‘blockchain’ technology in authentication services », Emirates News Service, April 19 2021, <https://wam.ae/en/details/1395302928148>
 - « Inclusive Deployment of Blockchain: Case Studies and Learnings from the United Arab Emirates », United Arab Emirates Center for the Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, Jan 2020, https://www3.weforum.org/docs/WEF_Inclusive_Deployment_of_Blockchain_Case_Studies_and_Learnings_from_the_United_Emirates.pdf
 - « Emirates Blockchain Strategy 2021 », GovChain, retrieved May 17 2022, <https://govchain.world/uae/>
 - « Global Blockchain Council », DMCC, retrieved Jul 6 2022, <https://www.dmcce.ae/about-us/global-blockchain-council>
 - « MakerDAO Has Come Full Circle », MakerDAO, Jul 20 2021 <https://blog.makerdao.com/makerdao-has-come-full-circle/>
 - « Building a DAO governed Crypto City », City DAO, retrieved Jul 21 2022, <https://www.citydao.io/> ; « A New Nation State on the Cloud », Nation3, retrieved Jul 21 2022, <https://nation3.org/>
 - « 15 ways the world is transformed by DAOs », Aragon, Jul 6 2021, <https://blog.aragon.org/15-ways-the-world-is-being-transformed-by-daos/#metaverses-virtual-worlds>
 - « How it works », Convex, Jul 6 2022, <https://www.convexfinance.com>
 - « Pay-to-Play Governance Builds Steam as Bribe Raises \$4M », Andrew Thurman, Coindesk, Jan 22 2022, <https://www.coindesk.com/tech/2022/01/12/pay-to-play-governance-builds-steam-as-bribe-raises-4m/>
 - « Gitcoin is the community of builders, creators, and protocols at the center of open web ecosystems », Gitcoin, retrieved May 17 2022, <https://gitcoin.co/about>
 - « 2021 Year in Review », DAOhaus, retrieved May 17 2022, <https://daohaus.club/review/>
 - « Les minions permettent à votre DAO d'appeler des contrats arbitraires, ce qui vous permet de faire de nombreuses choses comme gérer les Ethereum Name Service, collecter les NFT, gérer la trésorerie dans la DeFi, etc. ». « Minion FAQ », Minion, retrieved Jul 21 2022, <https://daohaus.club/docs/users/minion-faq/>
 - « Holographic Consensus - part 1 », Matan Field, Medium, Nov 12 2018, <https://medium.com/daostack/holographic-consensus-part-1-116a73ba1e1c>
 - « Futarchy: Vote Values, But Bet Beliefs », Robin Hanson, mason.gmu.edu/~rhanson/futarchy.html
 - « Annex to the Commission Implementing Decision on the financing of the Digital Europe Programme and the adoption of the multiannual work programme for 2021 – 2022 », European Commision, Nov 10 2021, https://ec.europa.eu/newsroom/repository/document/2021-46/C_2021_7914_1_EN_annexe_acte_autonome_cp_part1_v3_

x3qnsqH6g4B4JabSGBy9UatCRc8_81099.pdf

- « Global Satisfaction with democracy », Foa, R.S., Klassen, A., Slade, M., Rand, A. and R. Collins, Bennett Institute for Public Policy of the University of Cambridge, Jan 2020, https://www.cam.ac.uk/system/files/report2020_003.pdf
- « Citizens in Advanced Economies Want Significant Changes to Their Political Systems », Richard Wike, Janell Fetterolf, Shannon Schumacher and J.J. Moncus, [pewresearch.org](https://www.pewresearch.org/global/2021/10/21/citizens-in-advanced-economies-want-significant-changes-to-their-political-systems/), Oct 21 2021, <https://www.pewresearch.org/global/2021/10/21/citizens-in-advanced-economies-want-significant-changes-to-their-political-systems/>
- « Blockchain Technology and Decentralized Governance: The Pitfalls of a Trustless Dream », Primavera De Filippi, Decentralized Thriving : Governance and Community on the Web 3.0, Feb 19 2020, [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm ?abstract_id=3524352](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3524352)
- « Moving beyond coin voting governance », Vitalik Buterin, Vitalik's Buterin website, Aug 16 2021, <https://vitalik.ca/general/2021/08/16/voting3.html>
- « Colorado Tried a New Way to Vote: Make People Pay—Quadratically », Adam Rogers, Wired, Apr 16 2019, <https://www.wired.com/story/colorado-quadratic-voting-experiment/>

10. AIDES, CHARITÉ & PHILANTHROPIE

- « Start accepting donations with 23 cryptocurrency on your website », Aidcoin, retrieved June 27 2022, <https://www.aidcoin.com/>
- « Blockchain Based Donation Platform For Social Impact », PinkCoin, retrieved May 10 2022, <https://pinkcoin.com/>.
- « You can help solve the water crisis », The Water Project, The Water Project website, retrieved May 10 2022, <https://thewaterproject.org/>.
- « Banking on Bitcoin: Nonprofit Success Stories Start to Emerge », Megan O'Neil, July 8 2014, retrieved May 10 2022, <https://www.philanthropy.com/article/banking-on-bitcoin-nonprofit-success-stories-start-to-emerge/>
- « Blockchain applications in the United Nations system: towards a state of readiness », Report of the Joint Inspection Unit, Petru Dumitriu, JIU/REP/2020/7, juillet 2020.
- « UNICEF explains how Bitcoin donations help its cause », SHAURYA MALWA · APRIL 9, 2021 <https://cryptoslate.com/exclusive-unicef-explains-how-bitcoin-donations-help-its-cause/>
- « Blockchain can be particularly beneficial to women, says WTO Director General, Luc Jose Adjinaou, July 13, 2021 <https://www.coindesk.com/en/analysis/people/blockchain-can-be-particularly-beneficial-to-women-says-wto-director-general/>
- « Building Blocks Blockchain network for humanitarian assistance - Graduated Project », World Food Program, retrieved May 10 2022, <https://innovation.wfp.org/project/>

building-blocks

- Boiardi, P. et E. Stout (2021), « To what extent can blockchain help development co-operation actors meet the 2030 Agenda ? », OECD Development Co-operation Working Papers, n° 95, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/11857cb5-en>.
- Martin Lemberg-Pedersen & Eman Haioty (2020) Re-assembling the surveillable refugee body in the era of data-craving, *Citizenship Studies*, 24:5, 607-624, DOI: 10.1080/13621025.2020.1784641
- Martin Lemberg-Pedersen & Eman Haioty (2020) Re-assembling the surveillable refugee body in the era of data-craving, *Citizenship Studies*, 24:5, 607-624, DOI: 10.1080/13621025.2020.1784641
- « The Engine Room and Oxfam: Biometrics in the Humanitarian Sector », March 2018. This report is available at <https://theengineroom.org>.
- « Sophisticated cyber-attack targets Red Cross Red Crescent data on 500,000 people », International Committee of the Red-Cross, retrieved May 10 2022, <https://www.icrc.org/en/document/sophisticated-cyber-attack-targets-red-cross-red-crescent-data-500000-people>
- « The State of the World's Cash 2020. », CALP
- « Financial Inclusion for everyone », Sempo, retrieved May 10 2022, <https://withsempo.com/>
- « Unlock Web3 », Consensys, retrieved May 10 2022, <https://consensys.net/>
- « OXFAM Introduces E-Vouchers as Aid Support to Disaster Affected Communities », Adorina Massing, Vanuatu Business Review, Sep 28 2020, <https://vbr.vu/news/oxfam-introduces-e-vouchers-as-aid-support-to-disaster-affected-communities/>
- « Welcome to Celo », Celo, retrieved May 23 2022, <https://docs.celo.org/>
- « Vanuatu », UN Women - Asia and the Pacific, retrieved May 10 2022, <https://asia-pacific.unwomen.org/en/countries/fiji/co/vanuatu>
- « Gender Equality and Gender-Based Violence Risk Mitigation in Cash and Voucher Assistance: Vanuatu Case study », Maja Tønning, Key Aid Consulting CARE, Dec 16 2022, <https://www.calpnetwork.org/publication/gender-equality-and-gender-based-violence-risk-mitigation-in-cash-and-voucher-assistance-vanuatu-case-study/>
- « UnBlocked Cash — designing for gender equality », Oxfam UnBlocked Cash, Feb 17 2021, <https://medium.com/unblockdcash/unblocked-cash-designing-for-gender-equality-857276ef3195>
- « Lessons from Vanuatu— half a year of delivering relief aid on blockchain », Oxfam UnBlocked Cash, May 31 2021, « <https://medium.com/unblockdcash/lessons-from-vanuatu-half-a-year-of-delivering-relief-aid-on-blockchain-ec326f81c688>
- Boiardi, P. et E. Stout (2021), « To what extent can blockchain help development co-operation actors meet the 2030 Agenda ? », OECD Development Co-operation Working Papers, n° 95, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/11857cb5-en>.
- « A blockchain-based workflow tool for an efficient and transparent project manage-

- ment », TruBudget, retrieved May 10 2022, <https://openkfw.github.io/trubudget-web-site/>
- « Recent Q&A », Multichain, retrieved May 10 2022, <https://www.multichain.com/qa/>
 - & « Getting Started », TruBudget, retrieved May 10 2022, <https://openkfw.github.io/trubudget-web-site/docs/README>
 - « Impact Tokens: A blockchain-based solution for impact investing », David Uzsoki, Patrick Guerda, International Institute for Sustainable Development | IISD.org, <https://www.iisd.org/system/files/publications/impact-tokens.pdf>
 - « We spoke to the vigilante hackers who stole \$85 million in ether to save it », Jack Morse, Mashable, Jul 26 2017, <https://mashable.com/article/ethereum-stolen-white-hat-group-rescued#ZPTC98wSEPOp>
 - « Welcome to the GIVeconomy », Lauren, Dec 24, 2021, <https://medium.com/giveth/welcome-to-the-giveconomy-b3e372da63dd> retrieved May 23, 2022.
 - « La torche Lightning destinée aux sinistrés de l'éruption du volcan Nyiragongo est arrivée à destination », Jean Luc, 25 Octobre 2021, Bitcoin.fr, <https://bitcoin.fr/la-torche-lightning-destinee-aux-sinistres-de-leruption-du-volcan-nyiragongo-est-arrivee-a-destination/>
 - « Aide via lightning : partager l'amour et la pilule orange », Gloire, 9 décembre 2021, <https://chainglob.com/aide-via-lightning-partager-lamour-et-la-pilule-orange/>
 - Kiveclair, Stage 0 - Help 50 People, retrieved May 2022. <https://volcan.cust.nodl.cloud/btcpay/apps/25h57gEov2ZXJELV7THDUoLsSnwc/crowdfund>
 - « Bitcoin Banking for Communities: Lessons Learned from Bitcoin Beach », Andrew, November 10, 2021, <https://galoy.io/bitcoin-banking-for-communities-lessons-learned-from-el-zonte/>
 - « Our History Early BitGive Projects from 2013 to 2016 », Bitgive Foundation, retrieved May 11 2022, <https://www.bitgivefoundation.org/5-year-report-2018/>
 - « How the giving account works », Fidelity Charitable, retrieved May 11 2022, fidelitycharitable.org
 - « Charities see more crypto donations. Who is benefiting ? » H. Hadero, November 15, 2021 <https://apnews.com/article/cryptocurrency-technology-business-bitcoin-philanthropy-34e629f4fc40f950c49e159c24595fa>
 - « 16% of Americans say they have ever invested in, traded or used cryptocurrency » Andrew Perrin, PewResearch, Nov 11 2021, <https://www.pewresearch.org/fact-tank/2021/11/16/of-americans-say-they-have-ever-invested-in-traded-or-used-cryptocurrency/>
 - « La crypto en France : structuration du secteur et adoption par le grand public », ADAN, 14 Février 2022 <https://adan.eu/rapport/crypto-france-structuration-adoption>
 - « Bitcoin 2.X (aka Colored Bitcoin) – initial specs » March 27, 2012. retrieved May 31, 2022. <https://yoniassia.com/coloredbitcoin/>
 - « Overview of Colored Coins », Meni Rosenfeld, December 4, 2012. retrieved May

- 31, 2022. <https://bitcoil.co.il/BitcoinX.pdf>
- « Non-Fungible Token, jetons non fongibles : quand le monde de l'art rencontre celui des blockchains », Jacques-André Fines Schlumberger, La revue européenne des médias et du numérique, la-rem.eu, N°57-58 Printemps - été 2021.
 - « NFT philanthropy demonstrates new ways of giving back », Rachel Wolfson, Jan 31, 2022. <https://cointelegraph.com/news/nft-philanthropy-demonstrates-new-ways-of-giving-back>
 - « Mapping School Connectivity Globally », UNICEF, retrieved May 16 2022, <https://projectconnect.unicef.org/map>
 - « Bringing Connectivity to Schools in a Fair & Transparent Way Exploring where blockchain and Giga intersect », Christina Lomazzo, & Mehran Hydary, UNICEF.org, Dec 04 2020, <https://www.unicef.org/innovation/stories/blockchain-school-connectivity>
 - « Our Mission », NFTb, retrieved Jun 27 2022, <https://nftb.io/charity/>
 - « How it works », Doingud, retrieved Jun 27 2022, <https://doingud.com>
 - « Yamamoto Nymph », Doingud, retrieved Jun 27 2022. <https://doingud.com/creation/0xb335cc9dcdd441d703c8b96dc781499e3fd085c3000000000001?edition=1>
 - « The Indestructible Donation », Open Sea, retrieved Jun 27 2022, <https://opensea.io/collection/the-indestructible-donation>
 - « Starving Afghans use crypto to sidestep U.S. sanctions, failing banks, and the taliban, », Lee Fang, January 19, 2022. <https://theintercept.com/2022/01/19/crypto-afghanistan-sanctions-taliban/>
 - 2nd December 2021 « One million children at risk of dying from starvation in Afghanistan within weeks », UNICEF, December 2021, <https://www.unicef.ie/2021/12/02/one-million-children-at-risk-of-dying-from-starvation-in-afghanistan-within-weeks-unicef/>
 - « Impoverished Afghan women are receiving emergency aid in crypto as the Taliban limits cash withdrawals and millions go hungry », Joshua Zitser, Business Insider, Jan 23 2022, <https://www.businessinsider.com/afghanistan-women-turn-to-cryptocurrency-to-feed-their-families-2022-1?r=US&IR=T>
 - « Starving Afghans Use Crypto To Sidestep U.S. sanctions, failing banks, and the taliban », Lee Fang, The Intercept, Jan 19 2022, <https://theintercept.com/2022/01/19/crypto-afghanistan-sanctions-taliban/>
 - « Guide Book », HesabPay, retrieved May 11 2022, <https://hesab.af/userGuide/en>
 - « Starving Afghans Use Crypto To Sidestep U.S. sanctions, failing banks, and the taliban », Lee Fang, The Intercept, Jan 19 2022, <https://theintercept.com/2022/01/19/crypto-afghanistan-sanctions-taliban/>
 - « The Battle for Paradise », Naomi Klein, ISBN 9781608463572, 2018. <https://gds-net.org/NaomiKleinBattleForParadisePart1.pdf>
 - Martin Lemberg-Pedersen & Eman Haioty (2020): Re-assembling the surveillable refugee body in the era of data-craving, Citizenship Studies, DOI:10.1080/13621025.2020.1784641

- « Blockchain in Aid & Philanthropy: State of affairs », Ronald Steyer, Apr 18, 2021, retrieved May 23, 2022. <https://medium.com/positiveblockchain/blockchain-in-aid-philanthropy-state-of-affairs-c0b1687833d1>

11. COMMUNICATION ÉLECTRONIQUE & TÉLÉCOMMUNICATIONS

- « Demain, des réseaux vraiment décentralisés ? », Cyril Fievet, Clubic, 3 septembre 2021, clubic.com
- « Les fréquences, gestion d'une ressource-clé », Sous la direction de François Rancy Avant-propos de Gilles Brégant Annales des Mines Série « Enjeux numériques » N°9, Mars 2020, <https://imtech.wp.imt.fr/2020/03/13/les-frequencies-gestion-dune-ressource-cle/>
- « Mapping School Connectivity Globally », UNICEF, retrieved May 16 2022, <https://projectconnect.unicef.org/map>
- « Bringing Connectivity to Schools in a Fair & Transparent Way Exploring where blockchain and Giga intersect », Christina Lomazzo, & Mehran Hydary, UNICEF.org, Dec 04 2020, <https://www.unicef.org/innovation/stories/blockchain-school-connectivity>
- « Exploring Blockchain for certification », UNICEF, retrieved May 17 2022, <https://certificates.unicef.io/>
- « Introducing birds of Solis », Snowcrash, retrieved Jul 8 2022, <https://snowcrash.com/>
- « Patchwork Kingdoms », GIGA, retrieved Jul 8 2022, <https://www.patchwork-kingdoms.com/>
- « White paper », 3air, retrieved Jun 8 2022, [https://docs.3air.io/pdf/3air_whitepaper.pdf ..](https://docs.3air.io/pdf/3air_whitepaper.pdf)
- « Rightmesh », Rightmesh, Medium, retrieved May 17 2022, medium.com/rightmesh/
- Althea, « White paper », Github, retrieved Jul 8 2022, <https://github.com/althea-net/althea-whitepaper/blob/master/whitepaper.pdf>
- « Althea Network », Althea, retrieved Jul 8 2022, <https://www.althea.net/>
- « Learn How to build the people's Internet », Threefold, retrieved May 17 2022, <https://library.threefold.me/info/threefold#/>
- « ThreeFold Explorer », Threefold, retrieved Jul 8 2022, <https://explorer.threefold.io/all>
- DIY Nodes Guide, Threefold, retrieved Jul 8 2022, <https://forum.threefold.io/t/diy-nodes-guide/837>
- « A business case for an Internet Blockchain », William B. Norton, Jun 2 2021, Syntropy Net, <https://www.syntropynet.com/docs/Internetblockchain>
- « DISH First Major Carrier to Bring Helium 5G to the People », Amir Haleem, Helium, Oct 26 2021, helium.com
- « Table ronde politique : Neutralité du Net, liberté d'expression sur Internet...le Pa-

- quet Télécom et la loi HADOPI », Benjamin Bayart, April, 9 juillet 2009. <https://www.april.org/transcription-table-ronde-politique-des-rmli-2009>
- « Freedom on the Net 2021 », Grant Baker, Cathryn Grothe, Amy Slipowitz, Manisha Vepa, Kian Vesteinsson, and Tessa Weal, Freedom House, 2021, https://freedomhouse.org/sites/default/files/2021-09/FOTN_2021_Complete_Booklet_09162021_FINAL_UPDATED.pdf
 - « Freedom on the Net 2021 », Grant Baker, Cathryn Grothe, Amy Slipowitz, Manisha Vepa, Kian Vesteinsson, and Tessa Weal, Freedom House, 2021, https://freedomhouse.org/sites/default/files/2021-09/FOTN_2021_Complete_Booklet_09162021_FINAL_UPDATED.pdf
 - « 100+ VPN Logging Policies Debunked », Rob Mardisalu, TheBestVPN, Jan 6 2020, thebestvpn.com
 - « VPNs for data privacy », Erner Vermaak, CryptoSlate, Apr 18 2021, cryptoslate.com
 - « Mysterium makes the Internet blind to borders », Mysterium, retrieved May 17 2022, mysterium.network
 - « Deeper Network Basic Mining 2.0 + Mining updates for Genesis and Basic Mining, Deeper Network May 13 <https://deeper-network.medium.com/deeper-network-basic-mining-2-0-mining-updates-for-genesis-and-basic-mining-2ec2f112cf4>
 - « Introducing Nanopayments » Orchid, Oct 9, 2019, medium.com
 - « White paper - "The Nym Network The Next Generation of Privacy Infrastructure" », Claudia Diaz, Harry Halpin, and Aggelos Kiayias, Nym Technologies SA Version 1.0, Feb 26 2021, nymtech.net
 - « Overview », Nym Network explorer, retrieved Jun 8 2022, <https://explorer.nymtech.net/overview>

12. EDUCATION & EMPLOI

- « Blockchains and Education », Allan Third, Kevin Quick, Chris Valentine, Michelle Bachler, John Domingue, Knowledge Media Institute of the Open University, Knowledge Media Institute of the Open University for the European Union Blockchain Observatory and Forum, Dec 5 2019, https://www.eublockchainforum.eu/sites/default/files/research-paper/blockchain_observatory_education.pdf
- « L'enseignement supérieur en France », EuroGuidance, retrieved May 31 2022, <https://www.euroguidance-france.org/coming-venir-france/venir-en-france/lenseignement-superieur-france>
- « Pour trouver un emploi, ils mentent sur leur diplôme », Chloé Marriault, start.Les Echos, 7 mai 2021, <https://start.lesechos.fr/travailler-mieux/recrutements-entretiens/pour-trouver-un-emploi-ils-mentent-sur-leur-diplome-1313415>
- « Metafora », Flosslab, retrieved May 31 2022, <https://www.flosslab.com/>
- Delft University of Technology (The Netherlands) Georgia Tech (USA) Harvard Uni-

versity (USA) Hasso Plattner Institute, University of Potsdam (Germany) Massachusetts Institute of Technology (USA) McMaster University (Canada) Tecnologico De Monterrey (Mexico) TU Munich (Germany) UC Berkeley (USA) UC Irvine (USA) University of Milano-Bicocca (Italy) University of Toronto (Canada)

- « Our Technology », Digital Credentials Consortium, retrieved May 31 2022, <https://digitalcredentials.mit.edu/>

- « Des attestations numériques pour tous les diplômé·e·s de l'Université de Lille », Université de Lille, Communiqué de Presse, 28 mai 2021, https://www.univ-lille.fr/fileadmin/user_upload/presse/presse_2021/CPDemattestoklien.pdf

- « 20 000 attestations numériques de réussite au diplôme émises par l'Université de Lille », Université de Lille, Communiqué de Presse, 10 février 2022, https://newsroom.univ-lille.fr/fileadmin/user_upload/presse/2022/v20.000attestationsnumeriques.pdf

- « Ethiopia's blockchain deal is a watershed moment for the technology, and for Africa », Iwa Salami, The Conversation, 20 <https://theconversation.com/ethiopias-blockchain-deal-is-a-watershed-moment-for-the-technology-and-for-africa-160719>

- « Atala Prism » Project Management Institute, retrieved May 31 2022, <https://www.pmi.org/most-influential-projects-2021/50-most-influential-projects-2021/atala-prism>

- « Introduction », Veramo, retrieved May 31 2022, <https://veramo.io/docs/basics/introduction>

- « Les blockchains et le droit », Boris Barraud, Revue Lamy Droit de l'immatériel, Lamy (imprimé) / Wolters Kluwer édition électronique 2018, pp.48-62. fthal-01729646f

- « Votre diplôme dans la blockchain, quels avantages ? », Marianne Laurent, Monde des Grandes Ecoles et Universités, 16 mai 2017, <https://www.mondedesgrandesecoles.fr/diplome-blockchain-avantages/>

- White paper: « Building the digital credential infrastructure for the future » <https://digitalcredentials.mit.edu/>

- « Discriminations à l'embauche : un phénomène qui reste « généralisé et persistant », Louise Couvelaire, 24 novembre 2021/ https://www.lemonde.fr/societe/article/2021/11/24/discriminations-a-l-embauche-un-phenomene-qui-reste-generalise-et-persistant_6103458_3224.html

- « Introducing EBSI », European Commission, retrieved May 31 2022, <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSI/>

- « What is EBSI ? », European Commission, retrieved May 31 2022, <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSI/What+is+ebsi>

- « Diploma Functional Scope Skip to end of metadata », Marta Pastor, Regina dela Eva, European Commission, May 26 2021, <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSIDOC/Diploma+Functional+Scope>

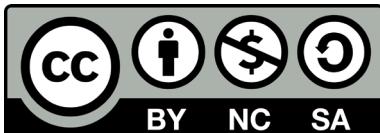
- « Talent Cloud Results Report », Government of Canada, retrieved May 31 2022, <https://talent.canada.ca/en/2000/01/01/504-blockchain.html>

- « Blockchain Can Disrupt Higher Education Today, Global Labor Market Tomorrow »,

- Andrew Singer, The CoinTelegraph, Jun 14 2020, <https://cointelegraph.com/news/blockchain-can-disrupt-higher-education-today-global-labor-market-tomorrow>
- « Payroll based blockchain identity », United States Patent Application, FPO, Nov 8 2018, <https://www.freepatentsonline.com/y2018/0322587.html>
 - « Our latest picture », PluralSight, retrieved May 31 2022, <https://www.pluralsight.com/>
 - « Tech Training Tackles Youth Unemployment in Kenya's Largest Urban Slum — Five Personal Stories from Kibera », WFP Innovation Accelerator, Oct 30 2020, <https://wfpinnovation.medium.com/tech-training-tackles-youth-unemployment-in-kenyas-largest-urban-slum-five-personal-stories-6b636e0b741c>
 - « Corsali — Founders Series », Amy Slawson, Medium, Jun 22 2021, <https://medium.com/virtuous-ventures/corsali-founders-series-991dd20436ee>
 - « How DAOs Could Change the Way We Work », Steve Glaveski, Harvard Business Review, Apr 07 2022, <https://hbr.org/2022/04/how-daos-could-change-the-way-we-work>
 - « TLDR - What is Gitcoin ? [Updated May 2022] », Gitcoin, retrieved May 31 2022, <https://gov.gitcoin.co/t/tldr-what-is-gitcoin-updated-may-2022/8694>
 - « Gitcoin Core », Github, retrieved May 31 2022, <https://github.com/gitcoinco>
 - « Decentralized Employment Ecosystem Opolis to Integrate MakerDAO's Dai Cryptocurrency », Danny Nelson, CoinDesk, Sep 18 2019, <https://www.coindesk.com/markets/2019/09/18/decentralized-employment-ecosystem-opolis-to-integrate-makerdaos-dai-cryptocurrency/>
 - « Better work in the gig economy », Jacques-André Fines Schlumberger, La Revue Européenne des Médias, N°53 Hiver 2019-2020, <https://la-rem.eu/2020/03/better-work-in-the-gig-economy/>
 - « Blockstack's First Business App Wants to Help Employees Earn More Crypto », Leigh Cuen, CoinDesk, Jul 30 2018, <https://www.coindesk.com/markets/2018/07/30/blockstacks-first-business-app-wants-to-help-employees-earn-more-crypto/>
 - « Blockstack's First Business App Wants to Help Employees Earn More Crypto », Leigh Cuen, CoinDesk, Jul 30 2018, <https://www.coindesk.com/markets/2018/07/30/blockstacks-first-business-app-wants-to-help-employees-earn-more-crypto/>
 - « Using Frontier Technology to Detect Hidden Labour Abuses in Agricultural Sectors in Thailand », Leanne Melnyk, Juliette Alemany, Delta 8.7, Feb 26 2021, <https://delta87.org/2021/02/using-frontier-technology-detect-hidden-labour-abuses-agricultural-sectors-thailand/ ?lang=fr>
 - « Can Blockchain Fix the Chocolate Industry's Labor Issues ? », Jill Ettinger, Green Queen, Mar 24 2022, <https://www.greenqueen.com.hk/blockchain-cocoa-labor-issues/>
 - « Koa taking transparency to the next level with Seedtrace », Seedtrace, May 31 2022, https://seedtrace-website.cdn.prismic.io/seedtrace-website/5270d7b5-7a21-408e-8661-beed0de6dd7e_Seedtrace_CaseStudy_KOA_01-zusammenge

fügt%2B%281%29.pdf

- « Blockchain for F chain for Factory Workers: A Study of Le ers: A Study of Le- vi's Worker WellBeing Program », Mary Basile, Golden Gate University School of Law GGU Law Digital Commons 3-25-2020. https://digitalcommons.law.ggu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=blockchain_law
- « Diploma Functional Scope Skip to end of metadata », Marta Pastor, Regina dela Eva, European Commission, May 26 2021, <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSIDOC/Diploma+Functional+Scope>



Les contenus de ce site sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons : **Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International.**

Vous êtes autorisé à : Partager — copier, distribuer et communiquer le matériel par tous moyens et sous tous formats. Adapter — remixer, transformer et créer à partir du matériel selon les conditions suivantes : Attribution — Vous devez créditer le rapport, intégrer un lien vers la licence et indiquer si des modifications ont été effectuées au rapport. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens raisonnables, sans toutefois suggérer que l'Offrant vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son Oeuvre. Pas d'Utilisation Commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de ce rapport, tout ou partie du matériel la composant. Partage dans les Mêmes Conditions — Dans le cas où vous effectuez un remix, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant le rapport original, vous devez diffuser le rapport modifié dans les mêmes conditions, c'est à dire avec la même licence avec laquelle le rapport original a été diffusé.

Pour citer ce rapport : « *Rapport Blockchain & développement durable* », Association Blockchain for Good, Jacques-André Fines Schlumberger, septembre 2022.

Crédits photos / images

Composition couverture : Damien Cazeils, Myriam Kasmi

Images appartenant au domaine public :

Page 28 : Veni Markovski, Commons.wikimedia.org

Page 52 : Anirudh, unsplash.com

Page 74 : Vadim Artyukhin @vademann, unsplash.com

Page 114 : Louis Reed, unsplash.com

Page 134 : Vincent Burkhead, unsplash.com

Page 158 : ChutterSnap, unsplash.com

Page 184 : Arty, unsplash.com

Page 212 : Beeple Everydays, The-First-5000-Days-NFT Picture

Page 238 : Nicholas Doherty, unsplash.com

Page 260 : Joao Marcelo Martins, unsplash.com

Page 298 : A close-up view of the Za'atri camp in Jordan for Syrian refugees as seen on July 18, 2013, from a helicopter carrying U.S. Secretary of State John Kerry and Jordanian Foreign Minister Nasser Judeh. [State Department photo/ Public Domain]

Page 324 : Denny Muller, unsplash.com

Page 344 : Xin Wang, unsplash.com

Rapport publié par l'Association Blockchain for Good
Directeur de la publication : Jacques-André Fines Schlumberger - Septembre 2022
bonjour@blockchainforgood.fr



BLOCKCHAINS & DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les blockchains permettent-elles d'accélérer la réalisation des Objectifs du développement durable, et ce de façon significative et soutenable ? 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 deuxième édition de ce 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 blockchain à la poursuite des Objectifs de développement durable, analysés à travers douze thématiques : identité & propriété, monnaie pair-à-pair & argent programmable, santé, environnement & climat, chaînes d'approvisionnement & logistique, agriculture & alimentation, web 3.0, arts & sciences, énergie, gouvernement & démocratie, aides, charité & philanthropie, communications électroniques & télécommunications, éducation & emploi. L'analyse de nombreux projets, dont certains ont d'ores et déjà dépassé le simple stade de la preuve de concept, permet 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 prédefinies, et une gouvernance sans tête ni centre, augurant des formes inédites d'interactions sociales.