

AGRICULTURE & ALIMENTATION

SEPTEMBRE 2022

WWW.BLOCKCHAINFORGOOD.FR



BLOCKCHAIN
@POLYTECHNIQUE

bpifrance
SERVIR L'AVENIR



INSTITUT
Louis Bachelier

PB PositiveBlockchain.io

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.



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.

CE CAHIER EST UN EXTRAIT DU RAPPORT :

Blockchains & développement durable

2022

BLOCKCHAIN FOR GOOD **BLOCKCHAIN @POLYTECHNIQUE** **bpifrance** **Caisse des Dépôts GROUPE** **INSTITUT Louis Bachelier** **PositiveBlockchain.io**

LIBREMENT TELECHARGEABLE SUR [BLOCKCHAINFORGOOD.FR](https://blockchainforgood.fr)

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 Zaehringier. Co-fondateur de *Positiveblockchain.io*, Lucas Zaehringier 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, Educateur, Co-fondateur de Sustainable ADA.

RELECTEURS - CAHIER AGRICULTURE ET ALIMENTATION

[Noémie Dié](#), [Jacques-André Fines Schlumberger](#), [Alejandro Gómez](#), [Audran Gouis](#).

TABLE DES MATIÈRES

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUES -----	7
BLOCKCHAIN ET TRAÇABILITÉ DANS LE SYSTÈME ALIMENTAIRE -----	11
LA TOKENISATION DES ACTIFS AGRICOLES -----	21
AGRICULTURE ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -----	23
BLOCKCHAINS ET MARCHÉS AGRICOLES -----	28
ENJEUX ET QUESTIONS -----	30
GLOSSAIRE -----	33
ÉDITEUR -----	42

AGRICULTURE ET ALIMENTATION

par **Lucas Zaehring**, 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://>



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
PEOPLE (FARMERS & CONSUMERS)	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 Garzarón, 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 », Médiaterre, 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 verdir 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/asia-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 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

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 Alimentaris « *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 ?

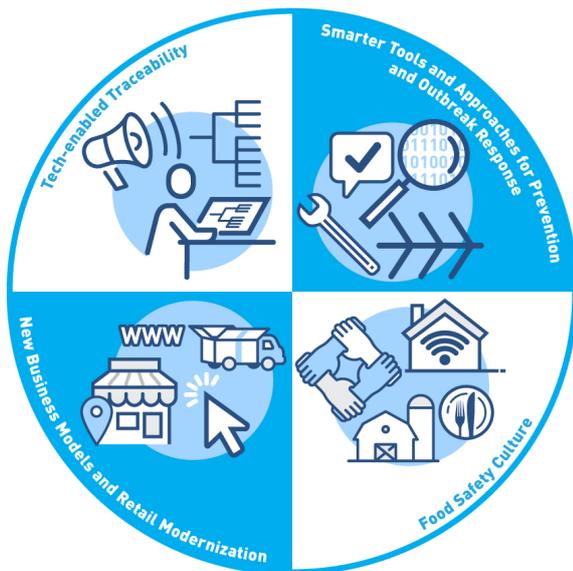
Les réglementations évoluent progressivement pour intégrer ces problématiques en partie sous l'influence des consommateurs et d'associations. Les instances de contrôle suivent également l'évolution des technologies permettant une traçabilité plus facile, fiable et transparente des produits alimentaires.

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-nouvelle.fr/qu-est-ce-qu-un-intrant/>



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

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 Resource 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.

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>

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

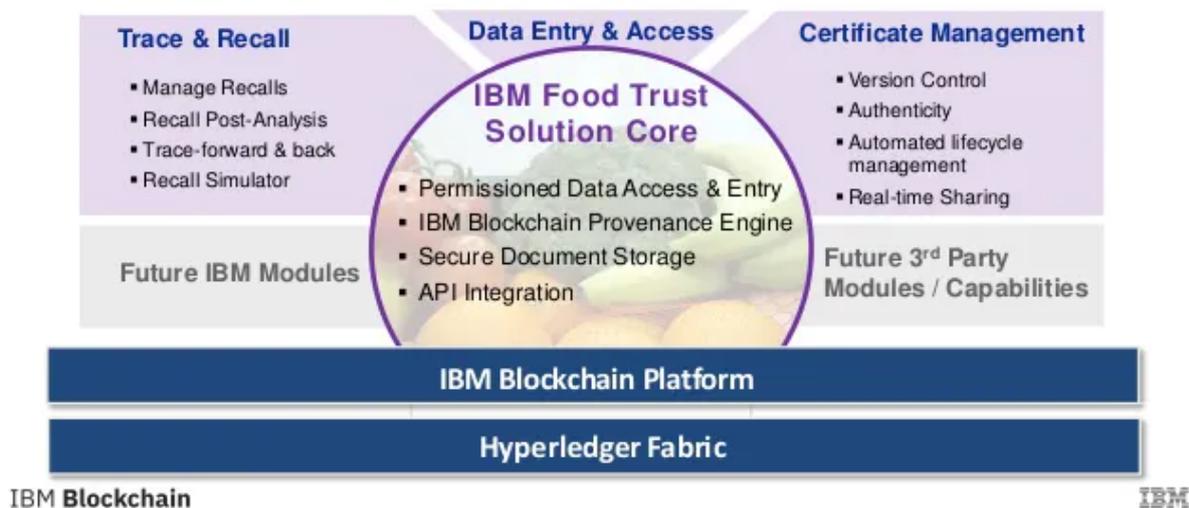
35 « Food Safety Law of the People's Republic of China (2015) », HFP Law & Intellectual Property, 2016, https://www.hfgip.com/sites/default/files/law/food_safety_-_16.02.2016.pdf

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.

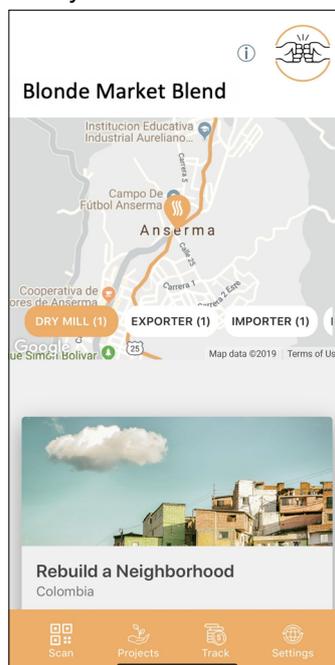
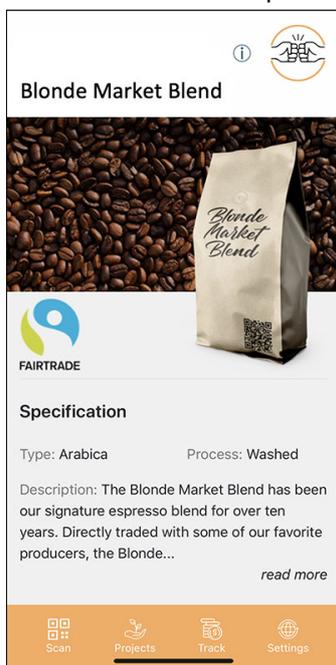
Les différents comptes utilisateurs définissent à quel moment les fournisseurs peuvent télécharger chaque type de données. Il peut parfois s'agir d'un simple enregistrement d'un logisticien, comme par exemple la réception d'un chargement d'huile d'olive dans un entrepôt. L'information est partagée *via* 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-ingredients-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 septembre 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)



- 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.
- **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.

De nombreuses *startups* et entreprises proposent dorénavant des solutions de traçabilité logistique qui reposent sur une blockchain :

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-bita-to-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.dailypi.com/Starbucks-Blockchain-Allows-Traceability-to-380,000-Coffee-Farms-|Blogs-|Internet-IT-&-e-Discovery-Blog-|Foley-&-Lardner-LLP/Pioneer.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**, supportés 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 », Sebastien 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 carbones 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.

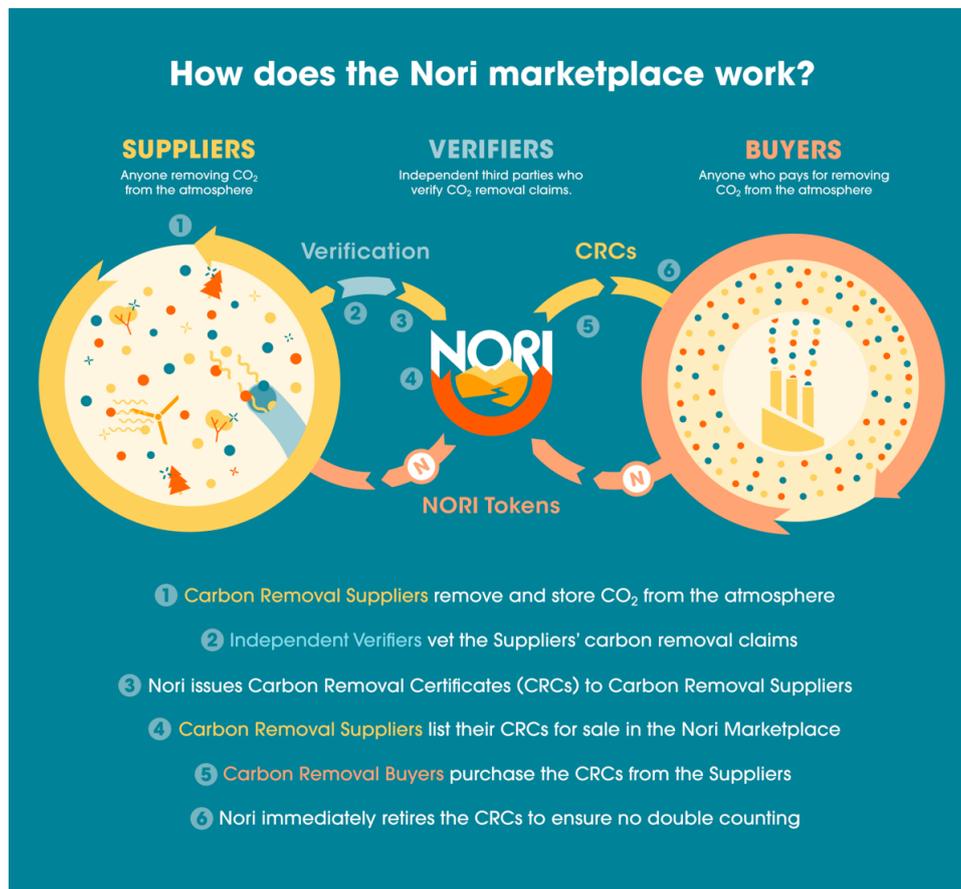
A noter qu'un certain nombre de ces projets sont actuellement à l'œuvre dans le domaine de la traçabilité carbone en lien avec l'agriculture comme par exemple **Nori**, **eAgronome** ou **Verity Tracking** que nous présentons rapidement ici.

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.rtf.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.

eAgronome 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 carbones 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.

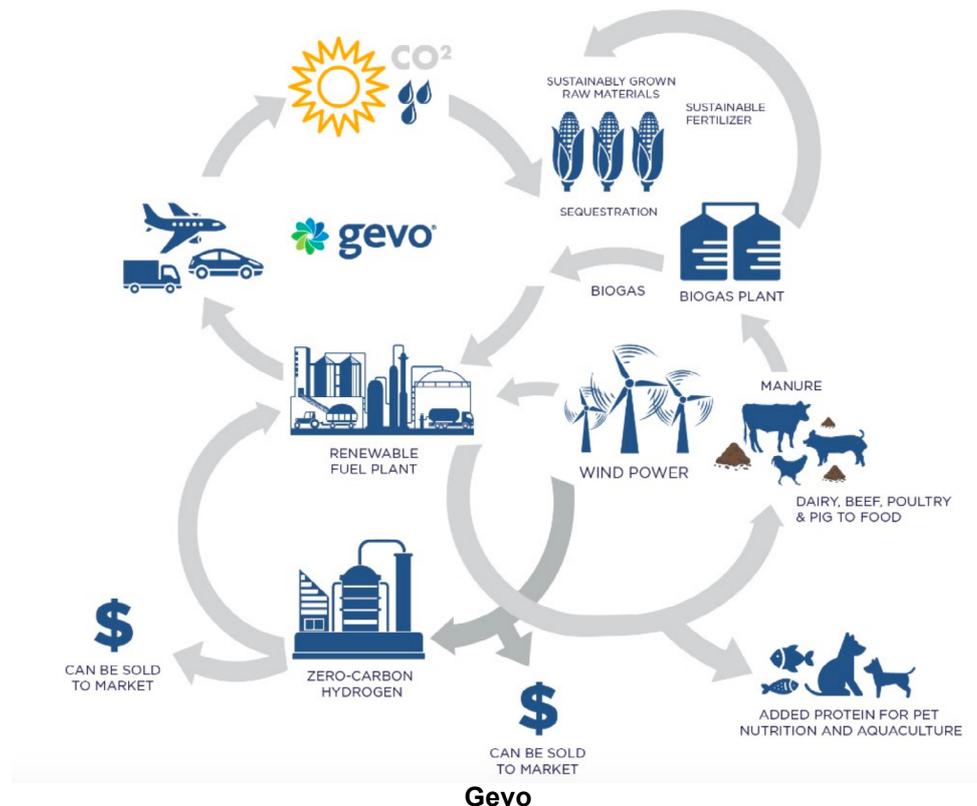
C'est en particulier l'objectif de l'usine **Net-Zero 1** qui devrait voir le jour en 2024. Verity Tracking a ainsi été développée pour tracer l'ensemble des facteurs d'émission au niveau des champs agricoles, du transport et de la distribution, et de la production de biocarburants, en utilisant des 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 3*⁶¹).

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 carbone.



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 ».

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%2C%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 », Référence Agro, 1^{er} Mars 2022, <https://www.reference-agro.fr/innovation/la-filiere-crc-lance-traca-ble-une->



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-Counter*⁶⁶) dans le marché des commodités 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 commodités comme le sucre, blé, le coton, et prévoit également de proposer 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 commodités dans 10 États de l'Inde*⁶⁸ ».

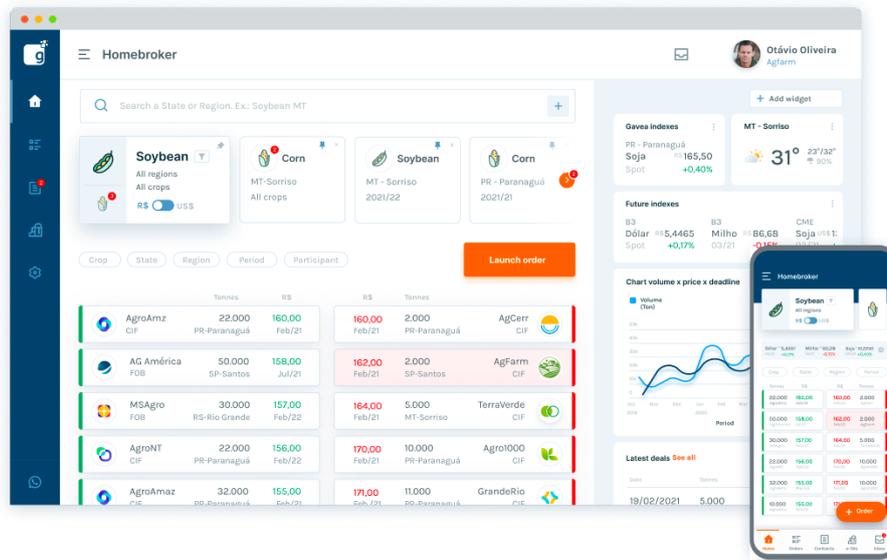
Agri10x développe les filières à l'export pour les agriculteurs indiens, notamment vers Dubaï, Singapour, la Malaisie, le Qatar, Oman, le Cambodge ou encore l'Indonésie. La société veut stimuler le développement de l'agriculture en Inde et répondre à l'ensemble des problématiques des agriculteurs y compris 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.

[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 », Redaçao Crania, June 21, 2022, <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/>



[About Us](#)
[Protocol](#)
[Download App](#)
[Become a Supplier](#)

[Visit E Marketplace](#)

Blockchain Driven Agricultural Ecosystem

Agri10x offers comprehensive digital solutions for every phase of agricultural value chain and is focused on enhancing the lives of farmers.

[Become a Supplier](#)

[Sign In](#)

We Work with Companies Like



Graphique 2. Source: www.agri10x.com



ENJEUX ET QUESTIONS

Si des initiatives blockchains s'enquêtent 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 »).

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 Merkel est une structure de données contenant un résumé d'information d'un grand volume de données. Le principe d'un arbre de hachage est de pouvoir vérifier l'intégrité d'un ensemble de données sans les avoir nécessairement toutes au moment de la vérification. 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 collatéralisée 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 publié 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 *smarts 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".

Rapport publié par l'Association Blockchain for Good
Directeur de la publication : Jacques-André Fines Schlumberger - Septembre 2022
bonjour@blockchainforgood.fr



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.1.0