



CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT & LOGISTIQUE

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

10 ÉQUILIBRE ÉCARTÉ

1 PAS DE POISSON

3 BONNE SANTÉ ET BIEN-ÊTRE

4 ÉDUCATION DE QUALITÉ

13 ÉNERGIE PROPRES, ÉCOLOGIQUES ET DURABLES

8 TRAVAIL DÉCENT ET ÉCONOMIE INCLUSIVE

7 ÉNERGIE PROPRE ET ÉCOLOGIQUE

16 ÉCARTÉ

12 ÉCONOMIE CIRCULAIRE

5 ÉGALITÉ ENTRE SEXES

14 VIE AQUATILE

16 VIE ÉCOLOGIQUE

11 VILLES ET COMMUNES DURABLES

9 INDUSTRIE, INNOVATION ET INFRASTRUCTURE

6 ÉCARTÉ

2 ÉNERGIE PROPRE

17 PARTENARIATS POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

BLOCKCHAIN FOR GOOD

BLOCKCHAIN @ POLYTECHNIQUE

bpifrance
SERVIR L'AVENIR

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 CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT ET LOGISTIQUE

[Noémie Dié](#), [Audran Gouis](#), [Thibaud Huriez](#), [Mathieu Lesueur](#), [Paul Pflimlin](#).

TABLE DES MATIÈRES

AGRICULTURE & PÊCHE -----	10
MATIÈRES PREMIÈRES - MINERAIS -----	14
MATIÈRES PREMIÈRES - BOIS -----	18
MATIÈRES PREMIÈRES - CACAO -----	22
TEXTILE -----	25
ENJEUX ET QUESTIONS -----	28
GLOSSAIRE -----	32
ÉDITEUR -----	42

CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT ET LOGISTIQUE

Nombre de projets dans la base : 86

Nombre de projets actifs : 60

Nom des projets actifs : Ambrosus ; Arc-net ; Arianee ; Aware ; BanQu ; Blockfreight ; CargoChain ; Chainvine ; Chronicled ; Circularise ; CircularTree ; Clara Diamond Solutions ; CobaltBlockchain ; Compellio Registry ; Decapolis ; Devery ; Dibiz ; Emurgo ; Everledger ; Evertrace ; Faircoin ; FAO charcoal in Ivory Coast ; FAO farming in Papua New Guina ; Forest Stewardship Council (FSC) ; Gaiachain ; "GemFair project" ; Genuine Way ; KYG Trade Foundation ; Minexx ; Mintrax ; Morpheus ; NutraSign ; Nyala ; Oceanus Foundation ; Open Packaging Network OPN ; OriginTrail ; OURZ ; Ownest ; Provenance ; RCS Global and the Better Sourcing Program ; Re | Source ; Realchain ; Reason ; Retraced ; S3FOOD ; Sandblock ; ScanTrust ; Skuchain ; SUKU ; TextileGenesis ; The Egyptian Cotton project - UNECE & UNIDO ; The Other Bar - UN blockchain chocolate ; Tracr ; TradeLens (IBM and Maersk) ; Transparency One ; Transparent Path ; VeChain foundation ; VerifiK8 ; Wave ; Yave Blockchain Platform ; *vous ne trouvez pas votre projet ? Vous connaissez un projet qui ne figure pas dans l'annuaire ? Envoyez-nous un mail à report@blockchainforgood.fr.*

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

La traçabilité d'une chaîne logistique est, selon la l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), « *la capacité de retracer l'historique, l'application ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées*¹ ». Aujourd'hui, toutes les entreprises dont l'activité dépend de chaînes d'approvisionnement internationales sont confrontées, selon la Commission économique pour

l'Europe des Nations Unies (UNECE²), à des problématiques récurrentes parmi lesquelles : (1) Être en mesure de prouver l'origine des marchandises, (2) Optimiser les délais douaniers, (3) Pallier au manque de transparence de chaînes d'approvisionnement, (4) Assurer une résilience de la chaîne d'approvisionnement, (5) Gérer les erreurs dans le traitement et l'audit des paiements, (6) Déjouer les escroqueries

1 « Blockchain application in seafood value chains. », Francisco Blaha & Kenneth Katafono, FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1207. Rome, FAO, 2020, <https://doi.org/10.4060/ca8751en>

2 United Nations Economic Commission for Europe - UNECE est l'une des cinq commissions régionales du Conseil économique et social des Nations unies, établie en 1947 pour encourager la coopération économique entre les États membres.



basées sur des données, (7) Résoudre des litiges, (8) Dépendre d'un « flux d'informations » qui s'arrête au point de vente.

En plus d'une approche économique, une chaîne d'approvisionnement s'interprète également selon ses externalités sociales et environnementales, permettant notamment de s'assurer que le travail des enfants est banni, que les premiers de la chaîne de production, en particulier les plus vulnérables, perçoivent un salaire décent. Quant à la dimension environnementale, elle appréhende plusieurs problématiques parmi lesquelles le gaspillage, la pollution générée, de la production à la consommation, l'empreinte carbone ou encore le commerce illégal de produits. Les acteurs des chaînes logistiques sont de plus en plus conscients des enjeux climatiques inhérents au transport des biens et des marchandises. Or l'impact environnemental d'une chaîne logistique repose sur le partage d'un certain nombre d'informations, à la fois financières et extra-financières, dont seul l'interopérabilité pourrait en assurer la cohérence générale. Les enjeux climatiques devraient inciter l'ensemble des acteurs à se conformer à des référentiels communs stimulant une « coopétition », mélange de coopération et de compétition qui dépasse l'intérêt de chaque entité prise séparément.

L'Objectif de développement durable 17 intègre le commerce international dans le cadre du renforcement des moyens

mis en œuvre par le Partenariat mondial pour le développement durable. Il vise à « *promouvoir un système commercial multilatéral universel, réglementé, ouvert, non discriminatoire et équitable sous l'égide de l'Organisation mondiale du commerce, notamment grâce à la tenue de négociations dans le cadre du Programme de Doha pour le développement* ». De sa mise en œuvre s'articulent plusieurs autres Objectifs de Développement Durable, parmi lesquels l'agriculture durable (ODD 2), les emplois décents (ODD 8), la consommation et production durable (ODD 12), l'exploitation durable des ressources marines (ODD 14), la protection de la faune et de la flore terrestre (ODD 15), la justice et la paix à travers des institutions efficaces, responsables et ouvertes (ODD 16).

Sous l'influence du numérique et de l'internet des objets (IoT), la gestion de flux logistiques s'appuie dorénavant sur une large gamme d'outils de planification, de suivi, de fabrication, d'optimisation des stocks, de transport et d'entreposage. Tout comme la gestion des données s'y rattache, et dont l'ultime objectif, pour une entreprise, serait de **suivre au plus près, idéalement en temps réel, le mouvement perpétuel des données relevant de son activité.**

La promesse des blockchains est de fournir « *une base de données décentralisée contenant des blocs séquentiels, liés par cryptographie, de transactions d'actifs signés*

numériquement, régis par un modèle de consensus³», permettant ainsi de gérer des flux d'informations et de transactions de manière sécurisée et automatisée entre un réseau d'acteurs. Son application dans le secteur de la logistique et de la traçabilité pourrait sembler évidente. Car les chaînes logistiques modernes impliquent de plus en plus d'acteurs qui ne se connaissent pas mais interagissent en permanence, contexte opportun pour gérer la confiance des informations enregistrées à chaque étape de leurs interactions à travers un registre distribué.

Aujourd'hui, une chaîne logistique internationale reste opaque pour bon nombre d'entreprises qui en composent la chaîne de valeur. Comme l'explique Susanne Köhler, de l'Université d'Aalborg au Danemark, *« souvent, les entreprises ne connaissent pas leurs fournisseurs de niveau 3 ou 4, avec une visibilité limitée au-delà du premier niveau⁴ ».*

La mise en œuvre de registres distribués sur une chaîne logistique vise à garantir la transparence et l'intégrité d'informations et de données par chacun des acteurs de la chaîne de valeur, qui, une fois enregistrées, ne pourront plus être modifiées, et dont l'accès, pour chacune des parties prenantes, devient aisément vérifiable et traçable. Une alternative aux systèmes de données cloisonnés où

chaque acteur détient des informations dont le partage ou le transfert avec d'autres parties est complexe, lacunaire et chronophage.

C'est en tout cas la promesse de nombreuses initiatives liées à la traçabilité dans des secteurs industriels aussi variés que l'extraction de minerais (diamants, terres rares, cobalt, tantale etc.), les exploitations forestières, les cultures de cacao, de café, de coton ou encore la traçabilité des produits de l'agriculture et de la pêche (voir Chapitre Agriculture et alimentation). Des projets blockchains de gestion de la chaîne d'approvisionnement comme **Emurgo**, la branche commerciale de la blockchain publique **Cardano**, fondée à Singapour en juin 2017, **Ambrosus**, **CargoChain**, **CargoX** ou encore **Skuchain** proposent notamment de réduire les formalités administratives, dont beaucoup passent encore par le papier.

Et s'aligner au passage sur la Loi type de la Commission des Nations Unies pour le droit du commerce international (CNUDCI) sur les documents transférables électroniques du 13 juillet 2017, qui vise ainsi à permettre *« l'utilisation légale de documents transférables électroniques aux niveaux national et international »*. Cette loi type prévoit en effet un principe de neutralité technologique *« ce qui permet l'utilisation de différents modèles qui peuvent être fondés sur un registre, des jetons, un registre distribué ou une autre technologie⁵ »*.

3 « Conceptualizing blockchains: characteristics & applications. », Karim Sultan, UmarRuhi, Rubinar Lakhani, 11th IADIS International Conference Information Systems, 2018.

4 « Unfinished Paths—From Blockchain to Sustainability in Supply Chains. », Susanne Köhler, Massimo Pizzol and Joseph Sarkis, Frontiers in Blockchain, 2021.

5 « Loi type de la CNUDCI sur les documents transférables électroniques », Commission des Nations



Selon Eric A. Caprioli, avocat⁶, « *lorsqu'on parle actuellement de registre, la solution du registre distribué incarnée par la blockchain, semble le moyen le plus pertinent en terme opérationnel puisqu'elle permet de remplir les fonctionnalités liées à la fiabilité et au contrôle* ».

En octobre 2021, les pays du G7 se sont d'ailleurs engagés à modifier leurs législations⁷ et à s'aligner sur la loi type de la Commission des Nations Unies sur les documents électroniques transférables. Mais le passage du papier à un registre décentralisé, ou même l'émergence d'Organisations autonomes décentralisées (DAO*) à l'échelle mondiale est encore lointain.

Agriculture & pêche

De nombreuses initiatives blockchains visent à assurer une transparence des chaînes d'approvisionnement, notamment dans la traçabilité des produits alimentaires, issus de l'agriculture ou de la pêche, ou encore dans l'orchestration de mécanismes de marchés agricoles. Il existe également des projets dans les domaines des assurances liés à l'agriculture comme Etherisc (voir Chapitre « Monnaie électronique pair-à-pair et argent programmable »).

Créé en 2016, **TE-FOOD** est basé à Budapest en Hongrie et à Albstadt en Allemagne. L'entreprise revendique « *plus de 6 000 entreprises clientes, 10 000 travailleurs de la chaîne d'approvisionnement formés et 400 000 transactions commerciales par jour*⁸ ». TE-FOOD développe un écosystème « *intégrant tout à la fois les entreprises de la chaîne d'approvisionnement, les consommateurs ainsi que les autorités, afin d'améliorer la sécurité alimentaire, éliminer les fraudes alimentaires et réduire les coûts des entreprises de la chaîne d'approvisionnement* ».

L'entreprise a développé une blockchain publique permissionnée*⁹ constituée d'une centaine de nœuds répartis dans

Unies pour le droit commercial international, Publication des Nations Unies, 8 juillet 2017, https://uncitral.un.org/fr/texts/ecommerce/modellaw/electronic_transferable_records#:~:text=La%20Loi%20type%20sur%20les%20documents%20transf%C3%A9rables%20%C3%A9lectroniques%20s'appuie,CNUDCI%20sur%20le%20commerce%20%C3%A9lectronique

6 Eric A. Caprioli, avocat à la Cour de Paris, docteur en droit Société d'avocats membre du Réseau JurisDéfi 7 « Des documents transférables électroniques à la blockchain », Usine-digitale.fr, 9 décembre 2021, <https://www.usine-digitale.fr/article/des-documents-transferables-electroniques-a-la-blockchain.N1167847>

8 « What can you achieve with TE-Food ? », TE FOOD, retrieved May 31, 2022, <https://te-food.com/>

9 Les mots marqués d'un astérisque renvoient vers le glossaire.

TE-FOOD et la gestion de la Covid 19¹

En 2020, TE-FOOD a noué un partenariat avec Eurofins et GE Aviation pour créer TrustOne sur leur blockchain publique.

Eurofins est un groupe international spécialisé dans les services d'analyses médicales qui compte 800 laboratoires répartis dans 50 pays à travers le monde. Eurofins a déployé auprès de ses laboratoires et entreprises clientes en charge de la vaccination de leurs employés, une solution de traçabilité du processus complet, de bout en bout, de la prise de rendez-vous aux résultats de tests de Covid 19.



Automatically inform employees about test results



Automatically generate daily testing schedules



Automatically generate downloadable test certificates



Organisation's controllers (or controller terminals) can check the test result compliance of employees at entry



Automatically set and communicate next testing dates



Keep track of test kits and samples wherever they are

¹ « TE-FOOD, Eurofins, and GE Aviation cooperate to offer end-to-end Covid-19 testing process solution for corporate customers », TE-FOOD, Sep 14 2020, Medium, <https://medium.com/te-food/te-food-eurofins-and-ge-aviation-cooperate-to-offer-end-to-end-covid-19-testing-process-solution-9956b69f388c>

différents pays. La blockchain est dite permissionnée parce que seules les entreprises clientes de TE-FOOD sont autorisées à écrire des données dans la blockchain publique. Ces dernières définissent également les informations qu'elles souhaitent rendre publiques, par exemple à destination du consommateur, tout en continuant de bénéficier d'un environnement d'affaires, privé, au sein d'un écosystème à la fois transparent et sécurisé.

Concrètement, une entreprise cliente de la blockchain TE-FOOD identifie de manière unique chacun de ses produits, en conformité avec la nomenclature internationale, gérée à l'échelle mondiale par le GS1¹⁰.

Les données sont ensuite capturées pendant le processus de production et enregistrées au fur et à mesure dans la blockchain publique.

Certains nœuds de la blockchain TE-FOOD sont maintenus par des acteurs de la chaîne logistique et d'autres par des communautés de consommateurs. L'un des grands enjeux concernant la mise en place d'un projet de traçabilité alimentaire concerne la formation des producteurs, des éleveurs et des agriculteurs aux outils numériques, qui requiert une réelle simplicité d'usage.

Mais selon Erik Árokszálási, CEO de TE-FOOD, « *la technologie blockchain étant transparente au niveau de l'utilisateur, elle ne constitue pas un obstacle à l'adoption.*

¹⁰ Le GS1 est l'organisation mondiale de standardisation et de normalisation de langages utilisés dans la chaîne logistique et le commerce, comme le code-barre en une (EAN) ou deux dimensions (QR Code, Datamatrix).



Des milliers d'agriculteurs l'utilisent chaque jour, dont beaucoup sans savoir quelle est la technologie sous-jacente ».

La traçabilité alimentaire ne concerne pas seulement le suivi logistique de denrées agricoles récoltées dans l'hémisphère sud vers des consommateurs de l'hémisphère nord. Le commerce intrarégional en Afrique joue un rôle important dans la réduction de la volatilité des marchés et l'amélioration de la sécurité alimentaire¹¹.

Au Kenya, **Twiga Foods**, - qui veut dire girafe en swahili, donne à voir un autre cas de traçabilité alimentaire apportant une solution à la fragmentation des marchés de détail composés à 90 % de petits détaillants et intermédiaires informels.

L'une des conséquences de la fragmentation de ces marchés de détail est qu'une tonne de tomate récoltée au Kenya coûte environ 100 dollars aux Etats-Unis et 400 dollars au Kenya¹².

Les ménages les plus pauvres consacrent ainsi jusqu'à 50 % de leurs revenus à l'alimentation, alors qu'un américain y consacre en moyenne 6,4 %¹³. C'est de ce constat qu'est parti Twiga Foods en 2014 pour « *mettre en place un écosystème*

fermé pour le commerce de détail en Afrique, axé sur un accès abordable à la nourriture et aux produits d'épicerie dans les villes¹⁴ ».

Twiga Foods a développé une plateforme de commerce B-to-B visant à simplifier la chaîne d'approvisionnement entre les producteurs de produits frais, les fabricants de produits de grande consommation et les détaillants, en supprimant de nombreux intermédiaires permettant de réduire le coût des aliments pour les consommateurs.

Comment Twiga fonctionne¹⁵ ?

Du côté de l'offre, le plus gros problème auquel les agriculteurs sont confrontés est l'acheminement de leurs produits vers le marché, notamment du fait de leur dépendance vis-à-vis des intermédiaires informels de la chaîne d'approvisionnement. Des courtiers peu scrupuleux profitent de ces difficultés en offrant aux agriculteurs des prix inférieurs à ceux du marché pour leurs produits ou en refusant de négocier avec eux pendant les périodes d'excédent de l'offre. La proposition de Twiga est d'offrir aux agriculteurs un marché garanti et des prix équitables. Twiga traite

11 « Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2016-2025 », OCDE & FAO, Annuel ISSN : 19991150, 2016, <https://doi.org/10.1787/19991150>

12 « Kenya's Twiga raises \$50M to scale food solutions across Africa », Tage Kene-Okafor, techcrunch.com, November 1, 2021, <https://techcrunch.com/2021/11/01/kenyas-twiga-raises-50m-to-scale-affordable-food-solutions-across-africa/>

13 « Consumer Expenditures-2020 », U.S. Bureau of Labor Statistics, Economic News Release, retrieved May 11 2022, <https://www.bls.gov/news.release/cesan.nr0.htm>

14 « Revolutionizing African Retail », Twiga, retrieved May 11, 2022, twiga.com

15 « How Twiga Foods reduces the price of food in Nairobi using technology », Twiga, Lincoln, November 1, 2021, retrieved May 11, 2022, <https://twiga.com/?p=3546>

directement avec les agriculteurs pour répondre à la demande des détaillants et collecte les produits directement dans les fermes. Les agriculteurs sont payés *via* la plateforme d'argent mobile M-Pesa dans les 24 heures suivant la collecte. Selon M. Njonjo¹⁶, Twiga a réduit les pertes post-récolte typiques au Kenya de 30 % à 4 % pour les produits vendus *via* la plateforme Twiga.

Du côté de la demande, Twiga enregistre les commerçants à Nairobi, qui passent ensuite commande auprès d'un représentant commercial ou directement sur l'application Twiga. Twiga expédie les commandes *via* ses véhicules de distribution en 24 heures. Pour optimiser la livraison, Twiga cartographie ses vendeurs à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) et s'appuie sur une plateforme de distribution assortie d'un algorithme d'intelligence artificielle pour savoir qui commande, où les vendeurs se trouvent, quel est l'état de la route et comment organiser au mieux les livraisons pour maximiser l'efficacité. En numérisant et en créant un registre de toutes les transactions, Twiga est également en mesure d'offrir un accès à des produits de crédit par l'intermédiaire de tiers, que ce soit à destination des agriculteurs ou des vendeurs.

IBM a été chargé de développer la plateforme B-to-B basée sur la blockchain Hyperledger Fabric, ainsi que les technologies d'apprentissage automatique et de traitement de données notamment sur le processus de demande de prêt utilisé par les vendeurs qui postulent *via* leur appareil mobile. L'un des algorithmes d'apprentissage automatique sert à prédire la solvabilité des vendeurs « *donnant ainsi aux prêteurs la confiance dont ils ont besoin pour accorder des micro prêts aux petites entreprises*¹⁷ » explique Isaac Markus, chercheur chez IBM qui a participé au projet.

Les processus de la demande de prêt, son acceptation et son remboursement sont enregistrés et traités *via* la blockchain de Twiga Foods en simplifiant considérablement la partie administrative. L'entreprise, qui en est à sa huitième année d'activité, est devenue le plus grand acheteur de produits frais au Kenya, desservant plus de 5 000 agriculteurs et 35 000 commerçants. Twiga Foods a levé un total de 157,1 millions de dollars en 19 tours de table, dont le plus récent a eu lieu en novembre 2021¹⁸, afin notamment de se développer en Afrique de l'Ouest courant 2022.

Dans le seul domaine de la traçabilité alimentaire, nous avons référencé dans la base de données PositiveBlockchain.

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ « IBM Helps Kenyan Agriculture Flourish On Twiga Blockchain », Steve Kaaru, Cryptobriefing, December 15, 2018 <https://cryptobriefing.com/ibm-kenya-agriculture-twiga-blockchain/>

¹⁸ « Twiga Foods, Crunchbase, retrieved May 11, 2022, https://www.crunchbase.com/organization/twiga-foods/company_financials



io quelques 71 projets depuis 2018, dont 34 sont actifs à ce jour et avons consacré un chapitre entier à ce sujet¹⁹.

Matières premières

La traçabilité des matières premières fait l'objet de nombreuses expérimentations de la part d'organisations de tout type, de petites start-ups à de grandes entreprises bien établies, avec parfois l'aide ou le support d'ONG ou Organisations internationales, notamment dans le domaine de l'extraction de minerais, la coupe de bois, la culture de cacao, de café ou encore de coton.

Minerais

Depuis le milieu des années 2010, l'industrie minière s'est intéressée aux technologies de certification basées sur le numérique dans les chaînes d'approvisionnement en minéraux, *« s'ajoutant à une pléthore d'instruments réglementaires et d'initiatives de gouvernance censés introduire la responsabilité dans une industrie ternie par les violations des droits de l'homme, le travail des enfants et les minéraux utilisés pour financer des conflits²⁰ »*.

Loin de l'image que l'on pourrait avoir des entreprises d'extraction minière, ce sont avant tout des entreprises pilotées par la donnée (*data-driven companies*), *« des*

données géologiques et économiques pour déterminer si l'opération en vaut la peine ; des données environnementales pour surveiller et atténuer l'impact ; et des données financières pour tenir les investisseurs au courant²¹ ». Aujourd'hui, ces données, largement disparates, sont traitées manuellement à travers un ou plusieurs logiciels de planification des ressources (*Enterprise Resource Planning - ERP*). Certaines sont enregistrées à l'aide de tableaux Excel voire même recopiées à partir de supports papier, à intervalles irréguliers et selon la venue d'auditeurs externes, missionnés pour vérifier la cohérence des informations.

La proposition de valeur d'implémenter une blockchain publique pour suivre une activité d'extraction minière est triple. Les données sont partagées en temps réel entre tous les acteurs impliqués sur la chaîne de valeur. Elles sont consignées dans un registre distribué et ne peuvent plus être modifiées, ce qui permet à la fois de repérer les erreurs humaines et de lutter contre la fraude. Enfin, la mise en œuvre d'une blockchain optimise les coûts et les délais en en se passant d'un éventuel tiers de confiance chargé de vérifier ces données.

BetterChain, Circular, Clara Diamond Solutions, CobaltBlockchain, Everledger, GemFair project, Minexx, Mintra,

¹⁹ Voir chapitre « Agriculture & alimentation ».

²⁰ « Governing extractive industries. Politics, histories, ideas », Abdul-Gafaru Abdulai, Anthony Bebbington, Denise Humphreys Bebbington, Marija Hinfelaar, Cynthia Sanborn (Eds.), Oxford Univ. Press, Oxford, 2018.

²¹ « Data-driven, data-dependent: Blockchain in the Mining Industry », Christian Ecker, MineSpider, June 8, 2021, minespider.com/blog,

Re | Source, Tracr ou encore **RCS Global** sont quelques-unes de ces nombreuses initiatives blockchain ayant pour objectif de rendre transparente les activités des industries minières.

Il semblerait toutefois que la plupart de ces projets conservent une gouvernance centralisée. La blockchain déployée sert davantage à optimiser les logiciels de planification des ressources (ERP) existants plutôt qu'à véritablement créer un écosystème distribué de données publiques, propre aux spécificités d'un secteur d'activité. Dans le domaine de l'énergie, l'Energy Web Foundation a d'ailleurs déjà opté pour cette approche (voir chapitre Énergie).

Beaucoup de projets consistent à développer une blockchain privée, à l'instar de **Mimosi (PeerLedger)** ou **Circulor**. Mimosi travaille depuis 2016 à créer un système de traçabilité associant une solution de *cloud computing* dont les données sont enregistrées dans une blockchain privée construite avec Hyperledger Fabric*. Une intelligence artificielle, des données de localisation géographique (GPS) et des composants de l'internet des objets (IoT), y sont associés afin que les parties prenantes, sur le terrain, interagissent au travers d'interfaces web. N'étant ouverte qu'à ceux qui l'ont mise en place, l'usage d'une blockchain privée sert essentiellement à

optimiser les coûts et les délais. **Circulor**, fondé en 2017 a conduit un premier pilote sur la traçabilité du tantale en provenance du Rwanda en 2018, en partenariat avec le Conseil rwandais des mines, du pétrole et du gaz, et a depuis développé un système d'information basé sur une blockchain privée et permissionnée. Depuis, Circulor s'est développé pour assurer « *une transparence totale sur le flux de carbone des matériaux tout au long de la chaîne d'approvisionnement, des matières premières aux fabricants eux-mêmes*²² ». Doug Johnson-Poensgen, CEO de Circulor explique ainsi que « *de nombreux constructeurs automobiles utilisent notre technologie pour démontrer l'approvisionnement responsable de matières premières essentielles, notamment le nickel (associé à des résidus en eaux profondes dans l'océan Pacifique) et le lithium (qui suscite des inquiétudes quant aux sources d'eau dans des endroits arides comme le désert chilien d'Atacama)* ». La solution s'interface via des API* avec les logiciels des entreprises clientes, parmi lesquelles BHP, FMG, SGS ou encore Volvo Cars, Daimler, Jaguar ou Land Rover²³.

De Beers, le conglomérat diamantaire sud-africain affirme avoir enregistré plus de 400 000 diamants sur une blockchain privée permissionnée²⁴ développée sur Ethereum appelée **Tracr**,

22 « Tracing the supply chain with Circulor », Kim Zou and Sophie Purdom, Climate Tech VC, June 11, 2021 <https://climatetechvc.substack.com/p/tracing-the-supply-chain-with-circulor?s=r>

23 « Trafigura and Circulor to provide carbon emissions tracking and traceability via blockchain to nickel and cobalt supply chains », Circulor, retrieved May 11, 2022, circulor.com

24 « Blockchain technology to power De Beers' diamond production », Gareth Jenkinson, May 6, 2022,



qui compte une trentaine de participants de l'industrie du diamant. La plateforme permet d'enregistrer « *la taille, la couleur, la clarté et le carat d'un diamant, puis le suit tout au long de la chaîne d'approvisionnement*²⁵ », garantissant à leurs clients « *l'origine et l'authenticité de la pierre par un simple scan au fur et à mesure qu'elle est extraite, taillée, polie et vendue*²⁶ ».

Minespider développe depuis 2017 une blockchain publique permissionnée²⁷, qui s'adresse spécifiquement à la traçabilité des chaînes d'approvisionnement de matières premières. Le système utilise la blockchain publique Ethereum pour maintenir le registre des transactions. Quant à la documentation légale et contractuelle, pour éviter de la conserver dans une base de donnée centralisée, Minespider utilise la solution de stockage de fichiers décentralisés IPFS*. Trois types de certificats numériques sont créés, selon que les données doivent être publiques, disponibles uniquement pour les membres de la chaîne d'approvisionnement, ou encore privées entre le client et l'entreprise²⁸.

Le système permettrait d'être utilisé pour « *communiquer des données essentielles sur la provenance, la sécurité des travailleurs, les émissions de carbone, l'utilisation de l'eau et tout autre point de données important, le tout sans contrôle centralisé des données*²⁹ ». Une manière de se mettre en conformité avec le règlement européen applicable depuis janvier 2021, appelé également règlement des minerais de conflit, qui impose aux importateurs de d'étain, de tungstène, de tantale et d'or (3TG) une obligation de vigilance afin de vérifier que les minerais ne proviennent pas d'une zone touchée par un conflit ou à la géopolitique instable³⁰.

Mais de l'aveu de bon nombre de professionnels du secteur, l'intérêt de ces **initiatives blockchains dans le domaine de l'extraction minière est encore très immature**. En avril 2021, lors du 14^e Forum annuel de l'OCDE sur les chaînes d'approvisionnement responsables de minerais (*14th Forum on Responsible Mineral Supply Chains*), de nombreux participants auront retenu³¹ que le développement de chaînes

<https://cointelegraph.com/news/blockchain-technology-to-power-de-beers-diamond-production>

25 « Forbes Blockchain 50 2022, Tracr », February 8, 2022. <https://www.forbes.com/sites/michaeldelcastillo/2022/02/08/forbes-blockchain-50-2022/?sh=40f8e0b831c6>

26 *Ibid.*

27 « Data-driven, data-dependent: Blockchain in the Mining Industry », Christian Ecker, Minespider, June 8, 2021 <https://www.minespider.com/blog/data-driven-data-dependent-blockchain-in-the-mining-industry>

28 « Minespider partners with Google for tin blockchain traceability », Ledger Insights, November 23, 2020, ledgerinsights.com.

29 « Lead the Shift to sustainable supply chains, MineSpider, retrieved May 11, 2022, <https://www.minespider.com/>

30 « Minespider secures EIT RawMaterials Booster funding to develop responsible mineral tracking », EIT Raw Materials, September 22, 2020, <https://eitrawmaterials.eu/minespider-secures-eit-rawmaterials-booster-funding-to-develop-responsible-mineral-tracking/>

31 « Recap: OECD Forum on Responsible Mineral Supply Chains », Peerledger, retrieved April 27, 2022, <https://www.peerledger.com/>

d'approvisionnement exemplaires, responsables et transparentes **nécessite l'adhésion de tous les acteurs à un même écosystème de données plutôt que chacun travaille de son côté sur un système propriétaire fermé, même s'il est ou tente d'être interopérable avec celui du voisin.**

La Responsible Minerals Initiative³² (RMI) a notamment rédigé dès 2018 le « RMI Blockchain Guidelines »³³, mise à jour en 2020, pour orienter leurs membres vers la mise en place d'une blockchain pour tracer leur activité. Le document préconise entre autres que *« la solution basée sur la blockchain doit être décentralisée, le terme «décentralisé» faisant référence à l'absence d'un lieu unique où les données sont regroupées ou contrôlées »*.

Or des projets de blockchains privées et permissionnées se targuent de participer l'élaboration du RMI Blockchain Guidelines, ce qui n'augure pas d'innovations majeures compte tenu de la nature centralisée des expérimentations qui se trouvent d'ailleurs rapidement confrontées à des problèmes d'interopérabilité.

Comme l'expliquent les chercheurs Filipe Calvao et Matthew Archer, ces initiatives blockchain tendraient même à *« accentuer le fossé entre l'aspiration technologique d'une information de traçabilité de la chaîne d'approvisionnement entièrement numérisée, menée par les multinationales, et les conditions de travail des petits mineurs et des entreprises locales et nationales, laissées largement en dehors du champ de ces initiatives pour des raisons d'opportunité politique, de coût économique ou de conception technologique »*³⁴.

Ces mêmes chercheurs se sont intéressés à la traçabilité du cobalt en République démocratique du Congo (RDC), qui détient à lui seul 70% des réserves mondiales et dont l'extraction est menée à la fois par des mines industrielles et des mines artisanales. Leur constat est le suivant : il n'y a pas de volonté politique locale pour implémenter un système de traçabilité, notamment dans les mines artisanales. En effet, *« comme les mineurs artisanaux ne reçoivent pas de salaire et sont payés pour le minerai extrait selon des prix établis par les sociétés minières, les coûts de la surveillance et de la certification numériques sont potentiellement déplacés vers les mineurs eux-mêmes »*.

32 « Fondée en 2008 par des membres de la Responsible Business Alliance et de la Global e-Sustainability Initiative, la Responsible Minerals Initiative est devenue l'une des ressources les plus utilisées par les entreprises de divers secteurs d'activité qui s'intéressent aux questions d'approvisionnement responsable en minéraux dans leurs chaînes d'approvisionnement. Plus de 400 entreprises et associations de plus de 10 secteurs participent aujourd'hui à la RMI, et nous collaborons régulièrement avec d'autres programmes et initiatives complémentaires dans ce domaine ». In « About Responsible Minerals Initiative », Responsible Minerals Initiative, retrieved May 11 2022, responsiblemineralsinitiative.org/about/rmi-initiative/

33 « Blockchain Guidelines », Responsible Minerals Initiative, retrieved May 11 2022, responsiblemineralsinitiative.org/

34 « Digital extraction: Blockchain traceability in mineral supply chains », Matthew Archer, Filipe Calvão, Political Geography Volume 87, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102381>.



De plus, ces initiatives blockchain ne résolvent en rien les éventuels problèmes de corruption qui consistent à renseigner de fausses informations dans un tel système. Enfin, il existerait une « *une suspicion générale à l'égard de toute tentative de suivi et d'enregistrement numérique des transactions de cobalt* », de la part des mineurs artisanaux.

La principale raison de cet échec est que ces initiatives blockchains, développées par des *startups* ou des groupes industriels sont essentiellement adressées au consommateur.

Aucun projet ne vient réellement changer le paradigme actuel de l'extraction minière, impliquant les mines artisanales, l'ensemble des mineurs artisanaux et leurs conditions de travail, ainsi que les impacts sociaux et environnementaux notamment auprès des communautés vivant autour des sites d'extraction.

Une problématique qui se retrouve dans le domaine de la traçabilité de chaînes agricoles, qui s'intéressent au produit de l'agriculture plutôt qu'au producteur ou à l'agriculteur, premier de la chaîne de valeur. Les chercheurs en concluent que « **le récit des blockchains en tant que plates-formes ouvertes et démocratiques, qui favorisent la transparence dans les chaînes de matières premières mondiales ravagées par les conflits diverge des projets réels de blockchain** développés par l'industrie minière pour répondre à la demande *croissante des consommateurs en matière de traçabilité*³⁵ ».

³⁵ *Ibid.*

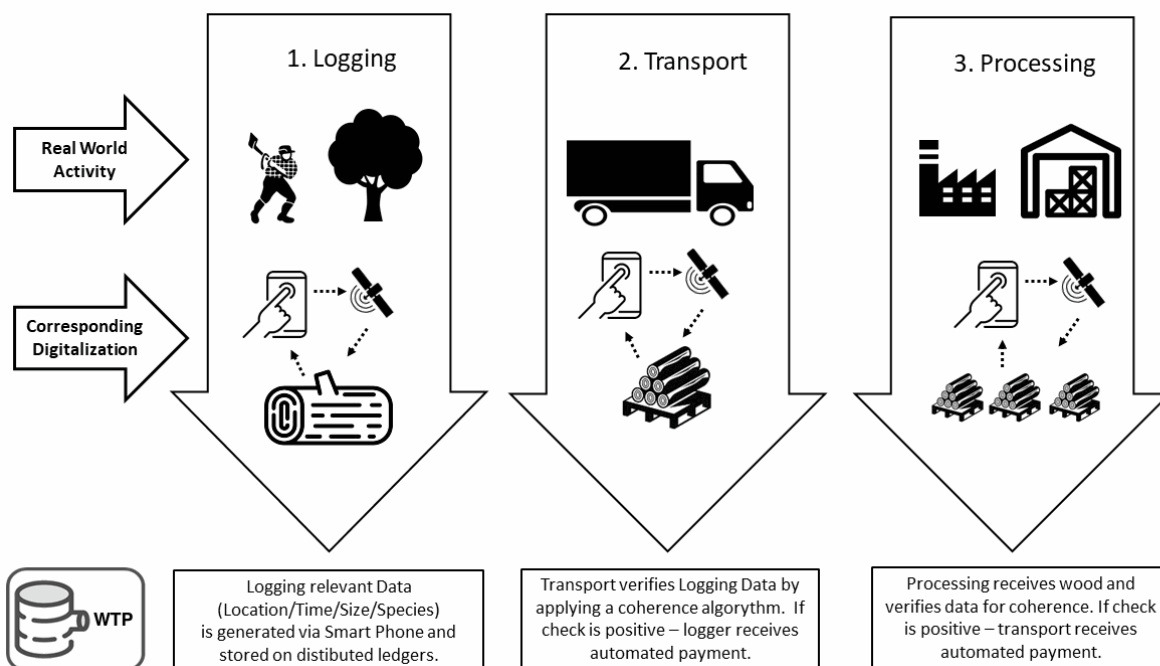
³⁶ « In pictures: Illegal logging in Peru », BBC, September 4, 2014, <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-28926270>

Bois

Le domaine de la transformation du bois et de la préservation des forêts fait également l'objet d'initiatives blockchains, notamment dans la région de l'Amazonie péruvienne avec **Wood Tracking Protocol**, ou en Côte d'Ivoire, avec **Charcoal Trace**.

Il y a dix ans, la Banque Mondiale estimait que « *80% des exportations de bois du Pérou sont illégales*³⁶ » dans un pays couvert à 53% par des forêts dont la majorité se situe dans la région de l'Amazonie, classée en forêt primaire. La Defensive Driving Center (DDC), basée au Pérou depuis 2009, est un centre de formation agréé par le Conseil National de Sécurité des Etats-Unis offrant des certificats internationaux.

Il a réalisé, en 2018, une preuve de concept ainsi qu'un prototype informatique de blockchain avec pour objectif de « *numériser les traces écrites des opérations de transformation du bois dans la région amazonienne et les mettre sur une blockchain publique* » : Wood Tracking Protocol (WTP).



Wood Transfer Protocol Project

Source : WTP, « Our Solution », <https://wtp-project.com/solution.php>

Comment fonctionne³⁷ Wood Tracking Protocol ?

Le projet combine des fonctionnalités offertes par les appareils mobiles (tels que les smartphones et les tablettes) et la technologie blockchain pour soutenir la traçabilité du bois dans la région de l'Amazonie péruvienne.

Wood Tracking Protocol propose aux acteurs de la chaîne de valeur (bûcherons, transporteur...) une application qui collecte des données pertinentes pour la forêt qui seront ensuite gérées et traitées sur une plateforme. Typiquement, les données peuvent être les paramètres géographiques d'une licence d'exploitation forestière,

des données sur l'espèce ou la taille d'un arbre à exploiter ou une image intégrant un horodatage et des données GPS montrant une opération le long de la chaîne de transformation du bois. Les utilisateurs de l'application, les bûcherons, se connectent à la plateforme Wood Tracking Protocol où la validation de l'identité se fait par la vérification du numéro de téléphone. Une fois que l'utilisateur est validé par Wood Tracking Protocol, il pourra interagir avec la plateforme au sein de laquelle les informations collectées seront consignées dans la blockchain utilisée.

L'application permet ensuite à ses utilisateurs de documenter leur travail

³⁷ « Our solution », Wood Transfer Protocol Project, retrieved May 11, 2022, <https://wtp-project.com/solution.php>



(en utilisant la photo, le GPS et d'autres fonctionnalités sur un appareil mobile) et de stocker ces informations de manière séquentielle et inviolable sur une blockchain. Le projet complète le suivi du monde réel en associant un historique numérique unique, notamment l'itinéraire GPS et l'heure, à un arbre ou à un chargement de bois. C'est ainsi que Wood Tracking Protocol peut réduire le risque que le même arbre ou le même chargement de bois ne soit pas enregistré plusieurs fois lorsque son suivi est assuré par papier.

Wood Tracking Protocol a d'abord développé sa plateforme en s'appuyant sur la blockchain publique Ethereum avant de basculer sur une blockchain privée en raison, selon le rapport 2021 de l'INATBA « *des limitations actuelles en matière d'évolutivité (le stockage de données volumineuses sur Ethereum en mars 2021 a un coût prohibitif) et de l'utilisation énergivore du mécanisme de consensus Proof of Work d'Ethereum³⁸* ».

Traçabilité du charbon de bois

En Côte d'Ivoire, la production de charbon de bois traditionnel et de bois de feu est depuis très longtemps associée aux problèmes de déforestation et de dégradation des terres. Selon le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD), il est utilisé

comme principale source d'énergie domestique par 47% des ménages installés dans les zones urbaines. Or, selon la Société de Développement des Forêts (SODEFOR), une société d'État ivoirienne, créée en 1966 et rattachée au ministère des eaux et forêts et au ministère de l'économie et des finances, « *près de 300 000 hectares de forêts disparaissent annuellement à cause de la surexploitation illégale du bois utilisé pour la production du charbon de cuisson et l'export du bois précieux (Tek, Afrormosia et Bete)* ». De plus, « *le marché du charbon de bois et de bois de feu étant largement informel et peu organisé et donc facilement pénétrable, il est souvent soumis à des problèmes de corruption et de pressions entre les acteurs* ».

C'est en partant de ce constat que, depuis 2008, une association ivoirienne de femmes, MALEBI, s'est engagée dans le domaine de la production et la vente commercialisation de charbon de bois durable.

Après avoir signé deux Conventions de partenariat avec la SODEFOR en 2011 et 2018, l'Association gère la forêt classée d'Ahua d'une superficie de 4 500 ha et revendique 150 ha de reboisement, réalisé en collaboration avec les communautés riveraines, leur permettant ainsi de produire et vendre un charbon de bois durable.

38 « Blockchain for Climate Action and the Governance Challenge », INATBA's 2021 Report, <https://inatba.org/reports/climate-action-governance-challenge/>

L'un des principaux défis auquel est confronté MALEBI est que *« les petits producteurs qui tentent de gérer légalement et durablement les forêts pour produire le charbon de bois ont du mal à rivaliser avec ceux qui extraient les ressources de manière informelle et déloyale et ne contribuent pas aux coûts de gestion »*.



Source : Delphine Ahoussi, Présidente de l'Association des femmes productrices et vendeuses de charbon de bois (MALEBI) <https://www.flickr.com/photos/faoforestry/50566430711/in/album-72157716747275473/>).

Le coût de production du charbon de bois issu de MALEBI ne peut pas concurrencer

l'exploitation illégale de charbon de bois. Pour mieux valoriser cette exploitation durable, MALEBI conduit depuis 2020 une initiative blockchain, **Charcoal Trace**, avec deux partenaires. **Resource Extraction Monitoring (REM)**, partenaire technique, une organisation britannique à but non lucratif créée en 2003 et spécialisée dans *« le contrôle indépendant de l'application de la loi et de la gouvernance pour les activités liées à l'extraction et à la gestion des ressources naturelles³⁹ »*, ainsi que **Gaiachain**, une organisation britannique fondée en 2018 et dont la mission est de *« développer des solutions de traçabilité et de paiement pour soutenir les chaînes d'approvisionnement sans déforestation, en particulier celles qui dépendent des petits agriculteurs »*.

Cette initiative a été financée par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture⁴⁰ (FAO), l'Agence suédoise de coopération internationale pour le développement, le Bureau des affaires étrangères, du Commonwealth et du Développement du Royaume-Uni et l'Union Européenne.

Charcoal Trace est une application mobile et Web basique qui permet de *« tracer le produit et d'enregistrer les documents essentiels tels que le permis de production de charbon, les reçus de paiement des redevances par sac et les carnets de voyages signés par les*

39 « Few Words about us », Resource Extraction Monitoring, retrieved May 11, 2022, <https://rem.org.uk/>

40 « Développement d'un système de traçabilité pilote du charbon de bois durable et légal basé sur la technologie blockchain », FAO-EU FLEGT Programme, 2019-2021, <https://www.fao.org/in-action/eu-fao-flegt-programme/our-projects/en/#/web/project/5b3a4e155bb93e49b83bf5ef>



Agents des Eaux et Forêts, mais aussi d'empêcher les retraits abusifs des permis ou des autorisations papiers lors des contrôles par certains agents sur la route⁴¹ ». La preuve de concept a d'abord été développée sur une blockchain privée, Hyperledger, avant de pouvoir être portée sur une blockchain publique. L'application permet ainsi de tracer le charbon depuis le site de production jusqu'aux points de vente. Les données enregistrées dans la blockchain concernent le nombre d'arbres coupés et leur essence ainsi que leurs coordonnées GPS tout au long du parcours, le nombre de sacs de charbon produits, vendus et réceptionnés ainsi que les documents légaux. Cela implique à la fois les autorités réglementaires, le gouvernement, les certificateurs ainsi que les producteurs, les transformateurs et les acheteurs.

De plus, un marché premium du charbon se développe à Abidjan et, selon l'agence de coopération internationale allemande pour le développement (GIZ), *« de plus en plus d'acheteurs cherchent à s'approvisionner en charbon de qualité, dans le secteur alimentaire et des cosmétiques, que ce soit à un niveau individuel ou des entreprises⁴² ».*

Cacao

Si la promesse des blockchains est de pouvoir offrir une transparence « de la fourche à la fourchette » selon l'expression marketing dorénavant consacrée, certains projets s'enquièrent de s'assurer que les premiers de la chaîne de production perçoivent un salaire décent (ODD 8⁴³). C'est ce que revendique l'entreprise **Koa**, basée en Suisse et au Ghana, qui, en mars 2022 assure avoir rémunéré 2 250 petits agriculteurs ghanéens à hauteur de 263 000 euros et ayant également évité 390 tonnes de déchets alimentaires⁴⁴.

Koa⁴⁵ forme les cultivateurs de cacao pour traiter la pulpe des fèves de cacao, auparavant mise au rebut. Cela leur permet de gagner un revenu supplémentaire et d'être payés sans délai après le processus de production. Koa a mis au point une « unité mobile de traitement communautaire » (voir image *supra*), fonctionnant à l'énergie solaire, et qui permet d'extraire la pulpe de cacao au sein même des communautés d'agriculteurs, à côté des plantations de cacao. La production est ensuite traitée par une usine située à Assin Akrofuom, une ville sur la rivière Gyimi dans la

41 « La technologie blockchain pour la bonne gouvernance du charbon de bois en Côte d'Ivoire », Eulalie Guillaume, Résumé exécutif du projet pilote, Avril 2021.

42 « Côte d'Ivoire », GIZ, retrieved May 11, 2022, <https://www.giz.de/en/worldwide/346.html>

43 Objectif de développement durable 8 Cible 3 : Promouvoir des politiques axées sur le développement qui favorisent des activités productives, la création d'emplois décents, l'entrepreneuriat, la créativité et l'innovation et stimulent la croissance des microentreprises et des petites et moyennes entreprises et facilitent leur intégration dans le secteur formel, y compris par l'accès aux services financiers.

44 « Can Blockchain Fix the Chocolate Industry's Labor Issues ? », Jill Ettinger, March 24, 2022, <https://www.greenqueen.com.hk/blockchain-cocoa-labor-issues/>

45 « Koa taking transparency to the next level with seedtrace », Seed Trace, retrieved May 11, 2022,



Unité mobile de traitement communautaire de l'entreprise Koa au Ghana

Source : koa, <https://koa-impact.com/production/>

région Ashanti du Ghana, afin que les produits soient pasteurisés, emballés et prêts à être expédiés.

La plateforme Koa a nécessité l'implication de trois partenaires, SeedTrace, MTN et Topl.

Seedtrace, fondée à Berlin en 2019 opère une blockchain dédiée à la traçabilité logistique. Ana Selina Haberbosch, PDG de Seedtrace explique vouloir « établir ainsi de nouvelles normes garantissant que les informations sont vérifiées, ne peuvent pas être manipulées et sont accessibles en temps réel pour toutes les parties prenantes. » **MTN**, quant à lui, est le plus grand opérateur de réseau mobile

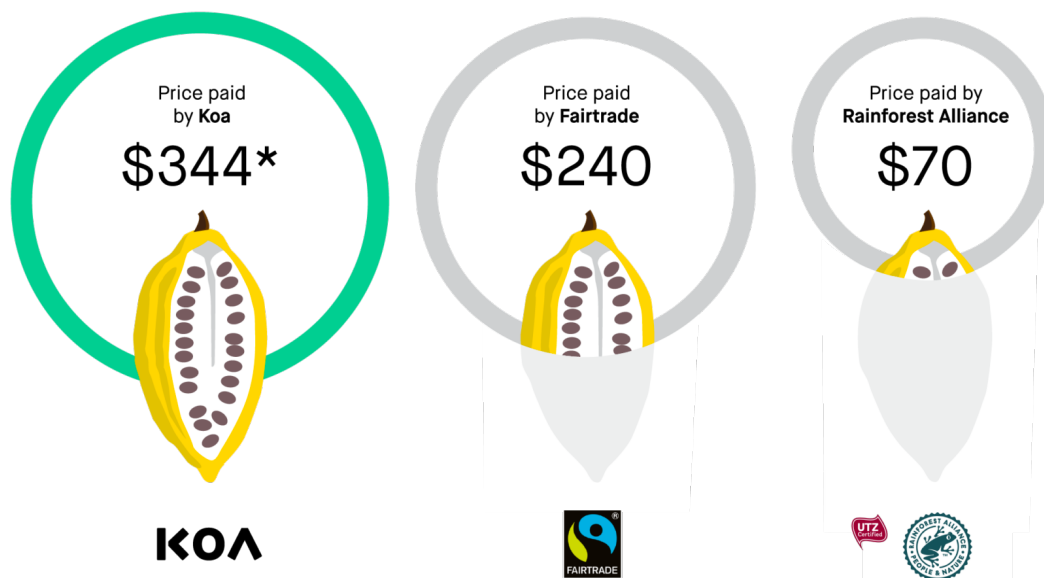
d'Afrique, avec 272 millions de clients sur 19 marchés en Afrique et au Moyen-Orient. Kao utilise MTN Mobile Money, « un service électronique sécurisé qui permet aux détenteurs d'un portefeuille MTN Mobile Money de stocker des fonds, d'envoyer et de recevoir de l'argent, d'effectuer des paiements et un certain nombre d'autres transactions en utilisant simplement leur téléphone portable⁴⁶ ».

C'est le service mobile utilisé pour payer les petits producteurs. Enfin, **Topl** est une entreprise de « technologie d'impact qui construit une solution blockchain pour permettre aux organisations et aux individus de prouver leurs pratiques éthiques et durables⁴⁷ ».

https://seedtrace-website.cdn.prismic.io/seedtrace-website/5270d7b5-7a21-408e-8661-beed0de6dd7e_Seedtrace_CaseStudy_KOA_01-zusammengefügt%2B%281%29.pdf

46 « MTN Ghana », MTN, retrieved May 11, 2022, <https://mtn.com.gh/>

47 « TOPL », Github, retrieved May 11, 2022, <https://github.com/Topl>



Koa Impact. Source : Koa, <https://koa-impact.com/radical-transparency/>

La blockchain de Topl, créée en 2018 est une blockchain publique sans permission⁴⁸, reposant sur un mécanisme de consensus de la preuve d'enjeu (*proof of stake**) dérivé d'Ouroboros de la blockchain publique Cardano.

L'intérêt de recourir à une blockchain permet d'offrir une autre forme de transparence que les labels comme le système « FairTrade » ou « Rainforest Alliance et UTZ », tout en assurant un revenu plus important pour le petit producteur. En effet, le système Fairtrade, par exemple, permet « *au consommateur d'identifier des produits dont les ingrédients sont issus du commerce équitable et dont la production, la transformation et la commercialisation*

répondent aux standards Fairtrade, répondant à un cahier des charges précis⁴⁹ ». Pour s'assurer du respect de ce cahier des charges, Fairtrade fait appel à un organisme de certification indépendant, FLOCERT, qui mobilise près de 100 auditrices et auditeurs basés dans cinq bureaux répartis sur quatre continents pour réaliser les audits des organisations de productrices et producteurs labellisés Fairtrade au moins deux fois par cycle de trois ans, ainsi que, parfois, lors d'audits inopinés⁵⁰.

48 « Virtual reality adapting coffee supply chains to covid-19 », Topl, retrieved June 14, 2022, [https://uploads-ssl.webflow.com/60f98f46d44e675abb7e66ea/611c66dff0c7e5f1ea9f7710_60776766cd67dd8cfd4206c5_Final%20Whitepaper%20\(1\).pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/60f98f46d44e675abb7e66ea/611c66dff0c7e5f1ea9f7710_60776766cd67dd8cfd4206c5_Final%20Whitepaper%20(1).pdf)

49 « Fair Trade : Frequently Asked Questions (FAQ) », Fairtrade, retrieved May 11 2022, <https://www.fairtrade.net/about/faq>

50 « Les contrôles en pratique », Fair Trade/ Max Havelar, retrieved May 11, 2022, <https://maxhavelaarfrance.org/le-commerce-equitable/certification-et-controle>

Koa se targue d'offrir un prix nettement plus élevé que ceux pratiqués par les labels FairTrade » ou « Rainforest Alliance et UTZ qui n'achètent en effet que les fèves de cacao aux petits producteurs, mais également d'assurer une transparence en temps réel des paiements effectués aux petits producteurs. Les paiements mobiles sont vérifiés et stockés sur une blockchain, devenant ainsi accessibles au public. *« Au lieu qu'une personne entre des informations sur la blockchain, elle relie les données des transactions d'argent mobile⁵¹ »,* explique Francis Appiagyei-Poku, directeur des finances et de l'administration de Koa. *« Cette combinaison nous permet de vérifier les revenus supplémentaires des agriculteurs, de fournir une preuve complète et d'accroître la confiance entre les parties prenantes ».*

Textile

Selon le WWF, *« le coton est la culture non alimentaire profitable la plus répandue dans le monde. Sa production procure un revenu à plus de 250 millions de personnes dans le monde et emploie près de 7 % de la main-d'œuvre dans les pays en développement. Environ la moitié de tous les textiles sont fabriqués en coton⁵² ».*

L'industrie manufacturière du textile

et de l'habillement est un secteur des plus complexes, notamment parce qu'il implique une cascade de sous-traitants qui couvrent l'ensemble du cycle de fabrication, depuis la récolte des matières premières jusqu'à l'élaboration des produits finaux, ce qui, pour certains, *« rend la traçabilité presque impossible⁵³ ».*

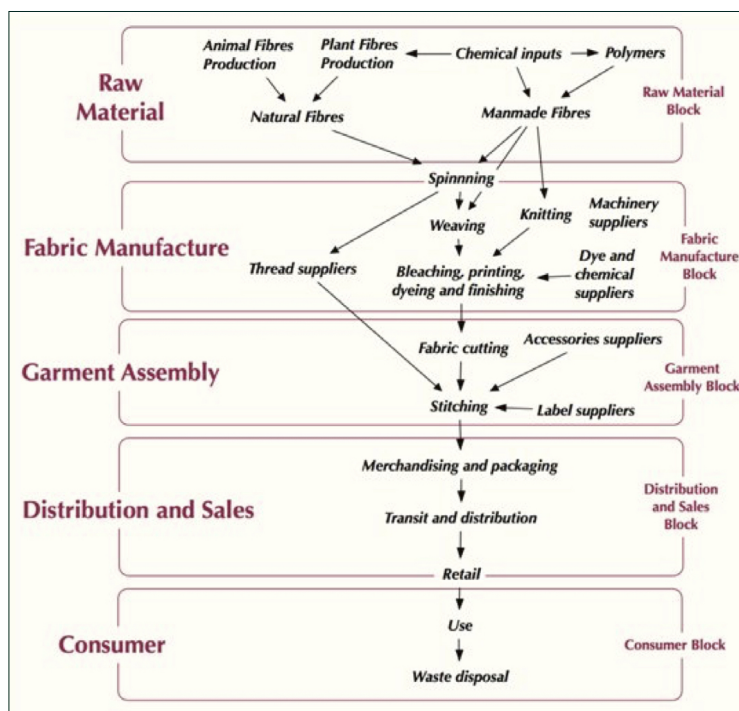
De nombreuses entreprises se sont néanmoins lancées dans la traçabilité de chaînes logistiques à l'attention des industries du textile et de l'habillement en déployant des applications ou des plateformes reposant sur des blockchains privées ou publiques.

Parmi les opérateurs ayant mis en place une blockchain privée, **Retraced GmbH**, en Allemagne, propose depuis 2019 *« une solution logicielle de gestion de la chaîne d'approvisionnement durable qui permet aux marques de mode de coordonner leurs chaînes d'approvisionnement et d'atteindre leurs objectifs de durabilité ».* La plateforme exploite une blockchain construite sur Oracle Autonomous Database, un service Cloud proposé par Oracle ainsi que Oracle Blockchain Platform, basé sur Hyperledger Fabric. C'est donc un logiciel de planification des ressources amélioré (ERP) qui permet à des marques de se lancer dans la gestion de leur chaîne d'approvisionnement.

51 « Koa and seedtrace take transparency to the next level, using blockchain », Seedtrace, retrieved May 11, 2022, <https://seedtrace.org/case-study-with-koa>

52 « Cotton », WWF Sustainable Agriculture, retrieved May 11, 2022, <https://www.worldwildlife.org/industries/cotton>

53 Bullón Pérez, Juan J., Araceli Queiruga-Dios, Víctor Gayoso Martínez, and Ángel Martín del Rey. 2020. « Traceability of Ready-to-Wear Clothing through Blockchain Technology » *Sustainability* 12, no. 18: 7491. <https://doi.org/10.3390/su12187491>



Ready-to-wear Clothing Supply Chain

Source : Bullón Pérez, Juan J., Araceli Queiruga-Dios, Víctor Gayoso Martínez, and Ángel Martín del Rey. 2020. « Traceability of Ready-to-Wear Clothing through Blockchain Technology » *Sustainability* 12, no. 18: 7491. <https://doi.org/10.3390/su12187491>

L'entreprise se targue de tracer 2 500 chaînes d'approvisionnement, 2 000 fournisseurs représentant 2 millions de produits.

Genuine Way fondé en 2018 en Suisse, **Nyala** créé en 2019 en Belgique, l'**association britannique de la mode et du textile (UKFT)** en partenariat avec IBM, le **U.S. Cotton Trust Protocol** s'appuyant sur **TextileGenesis™** ou encore **Verofax**, basée aux Émirats Arabes Unis depuis 2018 sont quelques unes de ces nombreuses *startups* ou consortium ayant lancé ou étant cliente d'une offre « *blockchain as a service* », sur le modèle d'une « offre Cloud » qui

permet à une marque d'utiliser une plateforme centralisée pour suivre des fournisseurs sur une chaîne de valeur plus ou moins complexe.

D'autres initiatives s'appuient sur une blockchain publique, comme **Devery.io**, qui a développé une plateforme de vérification décentralisée dont le principe est de pouvoir « marquer » et « suivre » n'importe quel produit ou matière sur la blockchain publique Ethereum.

Selon le livre blanc de Devery.io, le protocole utilise un token appelé Entry Verification Engine⁵⁴ (EVE) et qui permet « *aux fabricants, aux marques,*

54 « Devery (EVE) », CoinMarketCap, retrieved May 11, 2022, <https://coinmarketcap.com/fr/currencies/devery/>

aux détaillants et à toute autre partie d'attribuer des signatures uniques à tout produit, service ou bien numérique vendu, émis et échangé en ligne. Les signatures uniques sont stockées sur le réseau Ethereum et peuvent être interrogées pour déterminer les données contextuelles (notamment le lieu, la date, le fabricant/point d'origine et l'identification de la partie chargée de la vérification) ».

L'objectif de Devery.io est de créer un écosystème d'applications de vérification qui communiquent et interagissent entre elles par le biais du protocole Devery et du token EVE. Le protocole, *open source*⁵⁵, permet à des développeurs de créer des applications de vérification en utilisant des *smart contracts* pré-développés pour simplifier l'intégration des services auprès des entreprises clientes, tout en s'appuyant sur une blockchain publique basée sur Ethereum.

55 « Devery », Github, retrieved May 11, 2022, <https://github.com/devery>



ENJEUX ET QUESTIONS

La promesse d'initiatives blockchains dans le domaine de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement serait de servir de registre infalsifiable permettant de minutieusement tracer des informations fournies par une multitude d'acteurs différents interagissant sur une chaîne de valeur. La première question à se poser face à ce genre d'initiatives est celle de savoir comment le premier de la chaîne de valeur y est inclu. En effet, la mise en place d'une blockchain à des fins de traçabilité requiert *a minima* une connexion internet, ce qui est loin d'être le cas dans des zones reculées.

Si la connectivité le permet, il se pose également la question de savoir qui vérifie l'information fournie par ces acteurs ? Lorsque l'information est déclarative, qui empêche de renseigner de fausses informations ? Lorsque l'information est automatisée, notamment à l'aide de composants de l'internet des objets (IoT), comment s'assurer de la véracité des informations transmises ? Pour certains acteurs de la chaîne logistique déployant une blockchain pour maintenir l'intégrité des données d'un registre

partagé, le plus important n'est pas la donnée mais la personne qui en est responsable. Une entreprise française, **Ownest**, travaille depuis plusieurs années à mettre en oeuvre des systèmes de traçabilité de chaîne logistique reposant sur des jetons non fongibles (NFT*) attachés tout à la fois aux produits, marchandises et objets. L'objectif est d'assurer la traçabilité avec les personnes qui en ont la charge au fur et à mesure de leurs interactions sur la chaîne de valeur.

Pour Quentin de Beauchesne, co-fondateur de la société Ownest « *le NFT* est un des meilleurs représentants de ce transfert de valeur via une blockchain, et la traçabilité qu'il apporte, permet de suivre de manière certaine qui le possède à un moment donné. Si on ajoute la faculté d'accepter ou refuser ce NFT*, alors celui-ci peut porter la responsabilité sur un bien réel, ou virtuel¹ ».*

Toujours est-il que les chaînes d'approvisionnement internationales articulent de plus en plus d'intermédiaires rendant toujours plus opaques la provenance des

¹ « Des NFTs en logistique ? », Quentin de Beauchesne, Ownest, 18 mai 2021, <https://ownest.io/news/nft-month-nfts-logistique>

matières premières et la manière dont elles auront été extraites ou récoltées. Les externalités sociales et environnementales, liées aux violations des droits de l'homme et à la dégradation de l'environnement ne se reflètent que rarement dans le prix de vente, qui constitue bien souvent le seul critère d'arbitrage pour les acheteurs. Comment s'enquérir des dimensions sociales et environnementales liées à la production et la création de produits et de marchandises, et notamment les conditions de travail des premiers maillons de la chaîne ?

De plus, il est des secteurs industriels où, avec ou sans blockchain, l'opacité des pratiques dépend du contexte géopolitique des pays où sont extraites ou récoltées les matières premières, et de la manière dont elles seront ensuite vendues sur les marchés financiers.

Sur le marché des matières premières (*commodities market*), le seul critère est bien souvent le prix d'achat et de vente. Comme le confiait un professionnel de la chaîne logistique répondant à une interview dans le cadre du rapport *From Blockchain to Sustainability in Supply Chains*² « à l'heure actuelle, si vous achetez un matériau affecté

par un conflit, comme l'étain, sur le marché mondial, vous voyez l'étain à un certain prix, l'étain à un autre prix [...] et vous ne faites pas la différence. A-t-il été extrait du fond de la mer en détruisant les fonds marins ? A-t-il été extrait d'une mine responsable ? A-t-il été extrait en recourant au travail forcé ? Vous ne savez pas. Et ces entreprises peuvent produire des rapports, mais il y a toutes sortes de problèmes. Comment pouvez-vous savoir sans visiter ? Et donc, si vous vous rendez sur place, combien d'audits doivent être réalisés et donc, plus une entreprise prend des mesures de durabilité, plus elle subit d'audits, plus de personnes visitent la mine, plus elle doit travailler, et cela coûte plus cher. En conséquence, les prix sont plus élevés sur le marché des matières premières. Si vous achetez une matière première, c'est vraiment le prix qui fait la différence. Ils sont désavantagés. Si vous mettez en place une solution de suivi et de traçabilité, cela coûte de l'argent. Qui paie pour cela ? Les mineurs, ceux que vous essayez d'aider, et quelqu'un vient et dit que je vous donne un bonus de blanchiment de 30 % pour vendre illégalement à mon armée. Soudain, vous dissuadez les gens d'agir de manière responsable³».

2 « Supporting Information - Unfinished Paths - From Blockchain to Sustainability in Supply Chains », Susanne Köhler, Massimo Pizzol and Joseph Sarkis, *Frontier in Blockchain*, 2021, <https://doi.org/10.3389/fbloc.2021.720347>

3 *Ibid.*



Ainsi, les blockchains n'ont rien d'une solution miracle. Un problème majeur des chaînes d'approvisionnement, qui va de pair avec la complexification des chaînes de valeur, concerne la fragmentation des informations détenues par chacun des acteurs qui la composent.

Problématique que l'on retrouve également dans le domaine de l'industrie de l'extraction minière ou encore de l'industrie textile, responsable à elle seule de 17 à 20 % de la pollution mondiale des eaux selon la Banque Mondiale⁴.

Les enjeux de traçabilité des chaînes logistiques sont intrinsèquement liés à la multitude des acteurs interagissant entre eux sans se connaître au sein de chaînes de valeur complexes et souvent opaques. Que penser de la multiplication des initiatives blockchains, bien souvent privées, dont l'intérêt semble limité à ceux qui les déploient ?

Les initiatives consistant à déployer une blockchain privée permettent d'assurer à un petit nombre d'acteurs la gouvernance centralisée du service. Selon TE-FOOD « *les grandes entreprises alimentaires comme WalMart, Carrefour ou Nestlé peuvent être convaincues de mettre en œuvre des solutions de blockchains privées comme IBM Food Trust. En réalité, les blockchains centralisées - où tous les nœuds sont fournis par le fournisseur de la solution - ne sont pas plus crédibles qu'une base de données centralisée*⁵ ».

Le caractère centralisé et propriétaire de ces initiatives est une réplique des systèmes traditionnels, même s'ils gagnent en efficacité, puisque gérée par une entité ou un petit groupe d'entreprises. Une autre manière de fédérer l'ensemble des acteurs d'une filière ou d'un secteur d'activité serait de partager un langage commun, un référentiel commun, un registre commun qui appartiendrait à la fois à tous et à personne, à l'instar des standards d'internet, et dont la gouvernance ne dépendrait plus d'un seul acteur ou d'un groupe d'acteurs qui se coordonnent en

4 « L'impact environnemental de la mode et de la fast-fashion », Valentine Ambert, Youmatter, 16 février 2021. <https://youmatter.world/fr/impact-environnemental-mode-fast-fashion-textile-pollution-environnement/>

5 « 8 Food Traceability Predictions for 2020 », TE-Food, retrieved May 11, 2022, <https://te-food.com/8-food-traceability-predictions-for-2020/>

profitant de l'asymétrie d'information dont ils bénéficient.

Plusieurs professionnels travaillant dans le domaine de la traçabilité et de la logistique nous ont ainsi expliqué qu'actuellement, la dimension technique de ces projets blockchain n'était pas tant le plus

grand *challenge* que celui de la gouvernance.

En effet, un projet blockchain prend tout son sens dans un environnement où la confiance fait défaut et où la gouvernance est au moins décentralisée lorsqu'elle ne peut pas être distribuée.

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.

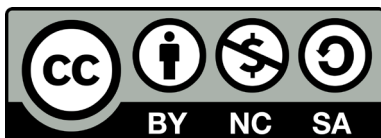
Tolérance aux pannes byzantines asynchrones (asynchronous Byzantine Fault Tolerance, aBFT) : La tolérance aux pannes byzantines asynchrones est une manière alternative de répondre au problème des généraux byzantins (voir

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