

**LA TECHNOLOGIE BLOCKCHAIN AU SERVICE DE SUPPLY CHAINS ALIMENTAIRES PLUS DURABLES, UNE
COMPLEXE CONCORDANCE DES TEMPS**

Résumé de la thèse en français de 100 mots au maximum :

La blockchain est attendue comme support d'une traçabilité améliorée et plus transversalement d'une durabilité des *supply chains* alimentaires. Dans la pratique, la promesse d'une optimisation des flux informationnels est contrainte par des injonctions temporelles déclinées en quatre dimensions : la structuration du système d'information, la définition de la gouvernance de la donnée, le travail de la donnée, la valorisation de la donnée. Au regard d'une étude de l'articulation entre flux physiques et flux informationnels, génératrice de temps long et/ou asynchrones, nos résultats participent à un processus de numérisation et digitalisation des *supply chains* plus maîtrisé.

Mots-clés :

Blockchain, Supply Chain agri-alimentaire, infrastructure informationnelle, traçabilité, travail de la donnée

**BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND SUSTAINABLE FOOD SUPPLY CHAIN, A COMPLEX CONCORDANCE OF
TIMES.**

Abstract:

Blockchain is expected to support improved traceability and, more generally, the sustainability of food supply chains. In practice, the promise of optimised information flows is constrained by time pressures in four dimensions: structuring the information system, defining data governance, data transformation and data value creation. Based on a study of the structuring between physical flows and information flows that generate long and/or asynchronous timescales, our findings contribute to a more controlled process of supply chain digitalisation.

Keywords: 5 mots-clés maximum

Blockchain, agri-food supply chain, information infrastructures, traceability, data processing

Auteurs et affiliations:

Jan Smolinski – Institut Agro Montpellier – UMR MoISA

Florent Saucède – Institut Agro Montpellier – UMR MoISA

Catherine Pardo – EM Lyon Business School

Fatiha Fort – Institut Agro Montpellier – UMR MoISA

Résumé managérial

2,2 secondes au lieu de 7 jours... En 2017, Walmart communiquait ainsi les résultats opérationnels de son partenariat avec IBM Food Trust pour retracer, grâce à la blockchain, l'origine de mangues prêtes à la consommation. La blockchain est alors associée à une promesse d'instantanéité de la transparence et de la visibilité dans les chaînes d'approvisionnement (SC) alimentaires, engagement porté par un système décentralisé de traçabilité de bout-en-bout, immuable et participatif, dont est extraite une information authentifiée à destination des professionnels ou des consommateurs. Praticiens et chercheurs ont alors positionné la blockchain comme solution pour améliorer le fonctionnement en temps réel des SCs alimentaires et leur responsabilité socio-économique, environnementale et sanitaire.

Considérant la nécessité de confronter les potentiels associés à la blockchain à l'analyse approfondie de cas d'usage concrets, encore peu nombreux, nous questionnons la promesse d'instantanéité de la blockchain en rendant compte des temps de production et pérennisation de SCs digitalisées. Notre étude repose sur un appareillage théorique pluridisciplinaire (associant sociologie de la traduction et sciences de gestion) inscrit dans une approche ethnographique qui articule l'analyse des sites Internet de prestataires de service blockchain, des entretiens semi-directifs auprès de quatre de ces prestataires, et des entretiens semi-directifs auprès de trois clients utilisateurs de telles solutions. Nos résultats mettent en évidence que, si la blockchain une fois déployée génère des gains de temps pour ses utilisateurs (à titre d'exemples pour identifier l'origine d'un lot défectueux ou pour accélérer les flux transactionnels entre agriculteurs et transformateurs), les contraintes temporelles imposées par un processus de digitalisation des SCs sont nombreuses.

Nous avons identifié quatre phases problématiques à considérer : 1) la structuration du système d'information ; 2) la définition de la gouvernance des données ; 3) le travail de la donnée et 4) la valorisation de la donnée. Les deux premières phases se situent en amont du déploiement de la solution et requièrent un travail chronophage pour les acteurs. Il s'agit, d'une part, de déterminer des données pertinentes et nécessaires à la mise en place de la solution, et d'autre part, de négocier dans un réseau multi-acteurs les rôles et droits à inscrire, ainsi que consulter, authentifier et analyser les données dans la blockchain. La troisième phase implique un patient travail de traitement des données (recueil, centralisation, manipulation, transformation et ajustements) pour qu'elles puissent être exploitées. Ce travail est coûteux du fait de la pluralité des formats sous lesquels se présente la donnée brute, et également de la prise en compte de flux physiques et flux informationnels asynchrones. Au-delà de possibles ruptures des flux informationnels, des actions s'avèrent inévitablement asynchrones (tels des résultats d'analyse biologique reçus postérieurement à la mise à disposition du produit pour le consommateur final. Dès cette troisième phase, la valeur ajoutée de la mise en données d'actions métier est générée. Dans le cas d'une prestation centrée sur la responsabilité des acteurs, la donnée est directement authentifiée dans la blockchain et analysée par la suite ; dans le cas d'une prestation centrée sur la qualité des données qualifiant les produits, des phases d'analyse des données encadrent (et précèdent) leur authentification dans la blockchain. La quatrième phase est le temps de la valorisation de la donnée, soit la mise à disposition intelligible de ces données sous la forme d'informations BtoB et/ou BtoC.

Ces quatre phases composent un processus de gestion des ressources et de collaborations qui vient soutenir un projet inter-organisationnel où les imaginaires technologiques se confrontent à la complexe structuration d'une infrastructure informationnelle. Dans cette organisation composite, les conditions d'efficacité des stratégies d'acteurs et des agencements informationnels doivent être particulièrement maîtrisées pour embrasser les problématiques de traçabilité des SCs alimentaires.

LA TECHNOLOGIE BLOCKCHAIN AU SERVICE DE SUPPLY CHAINS ALIMENTAIRES PLUS DURABLES, UNE COMPLEXE CONCORDANCE DES TEMPS

Introduction

Responsabilisées quant aux enjeux sanitaires et environnementaux et aux obligations réglementaires associées, les acteurs parties prenantes des supply chains (SCs) agroalimentaires sont conduits à améliorer et fiabiliser la traçabilité de leurs produits. L'optimisation de la traçabilité alimentaire tout au long de la chaîne d'approvisionnement introduit des composantes de largeur (variété des informations), de profondeur (de bout-en-bout), de précision (niveau de granularité) et d'accessibilité (temps d'accès à l'information) (Bosona et Gebresenbet, 2013). La technologie blockchain, appelée à se déployer au-delà des échanges de cryptoactifs qui constituent sa fonction première (Nakamoto, 2008), a été présentée comme un atout pour les SCs déclarées au service de la performance et de la durabilité des systèmes agri-alimentaires (Difrancesco, Meena et Kumar, 2023 ; Giganti et al., 2024). Cette ambition repose sur le principe d'une traçabilité performante dans l'ensemble de ses composantes (Saucède et Fenneteau, 2017) grâce à de nouvelles formes d'organisations participatives (De Filippi, 2017) permettant d'alimenter en données le système d'information porté par la blockchain. La traçabilité ainsi produite s'invite dans la construction des offres des acteurs des SCs qui démontrent leur volonté de se dévoiler dans des systèmes de transparence, offrant d'enrichir la valeur des produits par des packaging augmentés d'informations numériques précisant origines et processus de production (Saucède et Fenneteau, 2017).

Dans le cadre de SCs soumises aux injonctions du juste-à-temps et de la réduction du délai logistique, la promesse de la blockchain est de compléter une coordination par la captation et le traitement de données caractérisant la demande passée (Wieser, 2017), en associant un ensemble de données authentifiées captées et partagées quasi instantanément (Difrancesco, Meena et Kumar, 2023). Les objectifs sont une meilleure gestion : des processus opérationnels (Le Goff, 2017), des risques (Nicolas, 2018), et/ou des événements futurs (Swan, 2016). Malgré la bonne adéquation entre cette promesse et les injonctions pesant sur les SCs, dans les faits, les cas d'usage restent limités et leur étude relativise des travaux souvent centrés sur les hypothétiques potentiels de la technologie (Saucède et Piot-Lepetit, 2023). Notre contribution répond ainsi à un manque de clarté sur les modalités d'adoption de la blockchain comme infrastructure informationnelle.

L'observation des ressources informationnelles présentées par la technologie blockchain demande au préalable une meilleure compréhension des processus complexes de numérisation (Adner, Puranan et Zhu, 2019) et de digitalisation (Björkdahl, 2020) des SCs. Les SCs digitalisées doivent être appréhendées dans l'évolution des modalités de configuration de la supply chain, comme dans l'émergence de nouveaux rôles, métiers, et savoir-faire associés (Ageron, Bentahar et Gunasekaran, 2020). Insister sur le caractère innovant des SCs digitales et saisir dans sa globalité un numérique qui « a profondément transformé notre rapport aux autres, à l'espace, au temps » (Boullier, 2016, quatrième de couverture) implique dès lors de développer un cadre de référence ambitieux participant à développer le concept de SC digitale (Büyükköçkan et Göçer, 2018) et d'adopter une pluralité de cadrages théoriques (Ageron, Bentahar, et Gunasekaran, 2020). Couzineau-Zegwaard et Meier (2023) lient le renouvellement des technologies au renouvellement des méthodes d'analyse et ils s'appuient sur la théorie de l'acteur-réseau au moment de penser la SC digitale en tant que cadre sociotechnique alternatif (Callon, 1979), c'est-à-dire une technologie qui doit être en capacité de développer son propre écosystème technologique et social (intégration de l'intelligence artificielle, de la blockchain, des IoT, des jumeaux numériques, etc.). Les contributions des différents acteurs vont dépendre de l'intérêt que l'innovation suscite (par intéressement) au sein de « toute une série de groupes sociaux qui vont décider de son avenir » (Akrich, 1988, p. 20), en fonction de différents facteurs d'adoption (Karaa, 2022).

Le cadre théorique, les concepts et outils de la sociologie de la traduction (Akrich, Callon et Latour, 2006), dite aussi sociologie de l'acteur-réseau, sont mobilisés par la recherche en sciences de l'information et de la communication (Serres, 2002 ; Monnoyer-Smith, 2007), et plus largement par la recherche en sciences sociales. Dans le cadre de notre proposition, il permet de renouveler sans créer de rupture, dans le

sens où théorie de l'acteur-réseau reste attentive aux cadres éprouvés de la théorie de l'agence (Jensen et Meckling, 1976), concentrée sur la détention de l'information et sa distribution entre contractants, tout comme à la théorie néo-institutionnelle (Powell et DiMaggio, 1991), qui met en exergue l'influence des pressions institutionnelles et sociales. Elle permet ainsi de ne pas créer de clivage entre relations contractuelles entre individus (Weinstein, 2012) et influence exogène d'entités extérieures. Surtout, la théorie de l'acteur-réseau rendra compte des alignements stratégiques des acteurs qui concernent les acteurs humains comme les actants, en saisissant le système et le réseau informationnel dans sa teneur technique comme sociale sans tomber dans le piège de ne considérer la technique que « pour elle-même » (Davallon, 2004).

Ainsi, en complément de précédents travaux académiques axés sur des études conceptuelles ou de modélisation, ou des études empiriques rares et peu approfondies (Queiroz, Telles et Bonilla, 2019 ; Wamba et Queiroz, 2020), nous proposons une démarche qualitative pour analyser le processus de co-construction de cette infrastructure informationnelle (Bowker et Star, 1999) qui exprime l'implication de l'ensemble des acteurs de la SC au fil de la « trajectoire » (Strauss, 1992) de conception et d'expérimentation du service. L'étude des phases de co-construction de l'infrastructure concernée s'effectue au prisme de la redéfinition des temps des SCs, et de la prise en compte des contraintes temporelles (Ladleif, 2020), dans le processus de déploiement et d'appropriation de l'agencement sociotechnique (Akrich, 1988) formé par l'adjonction de la technologie blockchain aux SCs agri-alimentaires.

1. Blockchain, SC, espace et temps : éléments de contexte

Le lien entre temps, mobilités et univers marchand est ancien (Martin, 2004 ; Chessel, 1998) et se caractérise par des enjeux relatifs au transport des marchandises et des informations. Dès le début du 19^e siècle, la route des affaires investit les itinéraires offerts par les technologies d'acheminement des marchandises et des informations, le train et le télégraphe ayant réduit les distances (Chandler, 1988). Il s'agit de s'émanciper, autant que faire se peut, des contraintes temporelles liées à l'étendue spatiale *via* l'utilisation de dispositifs techniques. La numérisation supportée par les technologies de l'information et de la communication permet alors une meilleure coordination par la gestion accélérée d'un plus grand nombre de messages. La blockchain, journal de transactions enregistrées et synchronisées sur un réseau d'ordinateurs (Lesueur-Cazé, Bironneau et Morvan, 2022), s'inscrit ainsi dans une longue genèse d'agencements informationnels au service d'une coordination entre flux physiques et flux d'informations (Daneshvar Kakhi et Gargeya, 2019). Elle porte toutefois la promesse d'une amélioration de l'intégration des réseaux fragmentés d'acteurs que constituent les SCs agri-alimentaires (Srivastava et Dashora, 2022), combinant des objectifs d'accroissement de la transparence et la précision des données (Astill et al. 2019), de recueil d'un grand nombre d'informations relatives aux étapes de production (Salomie et al. 2008), ou de promotion des pratiques plus durables (Kamble et al. 2020). Ces ambitions sont soumises à un processus qui entend sélectionner et extraire des actions menées au sein des SCs sous la forme de données, soit une déterritorialisation (Deleuze et Guattari, 1980) de l'action dans son expression physique, de manière à les reterritorialiser au sein d'une configuration numérique stabilisée, homogène, et solidifiée (DeLanda, 2006). La finalité est une traduction numérisée d'une SC trop complexe à qualifier dans ses temps et spatialités physiques. Ces procédés invitent à une compréhension fine de l'influence réciproque qui s'exerce entre la définition de l'infrastructure informationnelle et les dimensions temporelles nécessairement associées.

2. Étude exploratoire : orchestration des temps de conception d'un dispositif sociotechnique

Ces liens entre temps et structuration des informations sont questionnés dans le cadre d'une étude exploratoire réalisée auprès de concepteurs de solutions blockchain et d'entreprises utilisatrices. Notre démarche ethnographique de collecte de données articule trois volets.

Le premier volet a pour objet de repérer, identifier, et relever des informations quant aux dispositifs proposés par les prestataires de service qui proposent des solutions digitales blockchain au service de SCs

plus transparentes, précises, traçables, et durables¹. Un travail exploratoire consistant à une approche netnographique des sites Internet des sociétés (c'est-à-dire en tant que production matérielle qui documente l'action des prestataires) par l'étude des traces des discours et prescriptions encapsulées dans le dispositif. Ces sites sont, en tant que vitrines, des dispositifs de captation qui matérialisent une mise en récit et en image de l'offre. Par association, nous avons équipé notre compréhension d'une veille média, d'un relevé des discours et interventions des représentants des dispositifs et d'une lecture de la littérature grise associée. Cela nous a permis de construire une première compréhension des offres des prestataires actifs sur le marché.

Le deuxième volet se rapporte à la conduite d'entretiens semi-directifs auprès de quatre acteurs des *transition techs* (Beuscart, 2018), prestataires de services blockchain. Les entretiens ont interrogé : les profils des prestataires (enquêtés), la genèse de leurs offres et la description des infrastructures informationnelles stabilisées, les modalités d'engagement des acteurs (clients, acteurs des filières), les dynamiques relationnelles préalables et consécutives à cet engagement et les principaux enjeux de ces offres.

Le troisième volet concerne des entretiens semi-directifs, menés avec quatre entreprises utilisatrices de services de blockchain, et deux organisations expertes, visant à saisir les dynamiques de co-production des solutions blockchain, de mobilisation des acteurs parties prenantes des SCs et de déploiement des infrastructures. Les cas, relatés minutieusement et à chaque séquence d'actions par les acteurs, font ressortir les « épreuves » (Boltanski et Thévenot, 1991) et controverses rencontrées dans la « trajectoire » (Strauss, 1992) de mise en place effective de l'agencement blockchain/SC, et plus précisément de sa quête de réduction des temps informationnels.

Dans ce méthodique processus de co-construction d'une solution répondant aux objectifs priorités et aux gains escomptés par le client, le prestataire est conduit à orchestrer différentes articulations analytiques et fonctionnelles pour accompagner tant la coordination instrumentale des parties prenantes que la partition des informations extraites des SCs.

3. Regards sur les temporalités : les chronophages figures du temps gagné

De manière liminaire, le contenu des entretiens fait ressortir diverses situations de réduction des temps d'action (Fabbe-Costes et Lemaire 2001) effectives et avantageuses. À valeur d'exemple, il nous est rapporté un temps de mise en lien entre un lot de céréales prêt à ensiler défectueux et sa parcelle de production, réduit de huit heures à deux heures. Ce gain de temps de six heures dans le rappel du lot impacte positivement les coûts financiers car il limite les frais de recherches, les pertes et destructions. Un second cas s'applique au paiement de premiums à des producteurs de cacao réduit de six mois à trois mois, l'objectif d'améliorer la durabilité sociale de la SC contribuant par ailleurs à pérenniser des relations BtoB favorables au bon maintien de la qualité du produit. Toutefois, dans une société du risque (Beck, 1986 ; Demortin, 2019), au-delà d'une réduction des coûts ressort l'enjeu d'anticiper et calculer (du point de vue financier comme temporel) aux fins de rassurer. Dans les dispositifs de mesure des risques et d'instauration de confiance, la blockchain s'entrevoit comme une hypothétique solution. L'infrastructure informationnelle construite, livrée et en fonctionnement témoigne, nous l'avons souligné, de gains temporels avérés. Si nous ouvrons la boîte noire de la solution, qu'en est-t-il des phases temporelles de déploiement du dispositif ?

S'intéresser de manière pragmatique à l'inscription d'une offre technologique de captation d'information de traçabilité (au sein d'une chaîne d'acteurs) met en exergue les problématiques adossées au processus de création de ces informations. En effet, dès l'instant où le contenu de l'information relative au

¹ Quatre critères ont déterminé la sélection des prestataires de services : sociotechnique, avec une médiation digitale qui doit être au centre de la démarche commerciale de l'acteur porteur ; sectoriel, avec le principe d'un dispositif numérique qui intègre la technologie blockchain, au service d'au moins une SC agroalimentaire ; géographique, avec une délimitation aux prestataires français (sachant que si le siège social est en France, l'offre est souvent européenne et/ou internationale) ; économique, avec une médiation qui doit s'adresser au moins en partie aux consommateurs finaux.

produit revêt une importance², se joue la quête d'une qualité informationnelle³, au sens de l'économie des qualités (Musselin et al., 2002). En pratique, cette recherche de qualité définit une typologie dichotomique d'infrastructures informationnelles, mettant en contraste les agencements à prédominance blockchain (où la qualité repose principalement sur la traçabilité de la responsabilité des acteurs) et les agencements à prédominance SC (où la qualité repose principalement sur la traçabilité des attributs évolutifs du produit). Les épreuves sont rencontrées lors de quatre temporalités du processus de digitalisation des SCs observé.

3.1. *Phase 1 : structuration du système d'information selon les objectifs définis par les clients.*

Structurer un système d'information dépend de la sélection des actions significatives qui débute par un travail préalable d'objectivation des enjeux (par exemple, prouver les allégations de réduction d'empreinte carbone d'une boisson). Suit le recueil de l'ensemble des informations relatives à l'intention initiale sous des formats souvent extrêmement hétérogènes (papier, export de système d'information, fichier Excel, scans, photos de feuillets, etc.), autant d'éléments collectés pour dessiner le chemin de la traçabilité. Les concepteurs enquêtés présentent ce patient travail comme constitutif d'une fine compréhension de la logique métier. La phase de définition des informations à recueillir est mentionnée comme particulièrement chronophage car elle requiert un temps d'enrôlement et de mobilisation (Callon, 1986) des acteurs (pour qui partager de l'information ne va pas de soi), sa minutieuse exécution est cependant fondamentale pour réaliser l'exercice de traçabilité conduisant à la validation d'une cartographie fonctionnelle de la SC numérisée.

3.2. *Phase 2 : gouvernance de la donnée et paramétrage des accès aux informations collectées.*

Ces données à recueillir subissent une première considération en termes de gouvernance informationnelle, soit le « cadre de responsabilités précisant les principes et règles de base, la structure de direction, de même que les modalités de gestion et d'accessibilité de l'information pour que celle-ci soit utilisée de manière efficace et efficiente dans l'organisation » (Maurel, 2013, p. 184). Il s'agit plus concrètement pour les prestataires de poser la question des rôles et des accès, entre modalités de renseignement de la plateforme par les acteurs de la filière et modalités d'accès aux informations. Ce système « sert à établir une base normative qui devrait faire consensus à toutes les strates de l'organisation » (*Ibid.*, p. 184). Par ailleurs, partager une même certaine donnée (telle que la géolocalisation d'une exploitation agricole) sera considérée comme sensible dans un contexte tandis que ce ne le sera pas dans un autre.

3.3. *Phase 3 : travail de la donnée, de son recueil à sa préparation en vue de futurs traitements.*

Une troisième considération concerne le traitement même de la donnée. Les prestataires font face à des données aux formats pluriels qu'il peut s'agir de nettoyer, de vérifier ou de standardiser pour les rendre exploitables. La transformation de la donnée, ou travail de la donnée, constitue un traitement particulièrement subtil et délicat des données numériques, qui interroge tout d'abord à quel niveau se situe la valeur attribuée à la blockchain. Dans le cas d'un agencement à dominante blockchain, les données recueillies font directement l'objet d'une inscription dans la blockchain aux fins de définir comme proposition de valeur un principe de responsabilité. Dans le cas d'un agencement à dominante SC, la valeur porte sur la qualité des données caractérisant les attributs du produit. L'enjeu consiste alors à s'assurer de la correspondance entre une caractéristique réelle et une donnée fournie, aussi la notariation intervient une fois l'information consolidée. Le travail de la donnée interroge ensuite le niveau d'efficacité accordé à l'usage automatisé des données (Goëta, 2016 ; Denis, 2018). Concernant ce point, nous avons observé sur le chemin de la traçabilité une désynchronisation des rythmes sociotechniques de constitution des informations marchandes, c'est-à-dire une différence entre le moment où l'action est effectivement menée et l'instant où cette même action devient une donnée, désynchronisation rendue parfois indispensable en fonction des typologies d'actions menées (par exemple, inscription d'une donnée en attente du résultat de laboratoire d'analyses biologiques). Le désordre dans lequel les données sont recueillies oblige à une temporisation, un enregistrement

² Nous séparons ici qualité du contenu informationnelle et qualité de l'information adossée à l'information, soit son horodatage qui « notarie » l'information fournie, et l'identification de l'acteur qui a renseigné cette même information.

³ C'est-à-dire une information présentée comme intéressante, vraie, et significative quant à la représentation de la SC.

asynchrone étant nécessaire à la mise en information de toutes les actions répertoriées. Il y a découplage entre flux physiques et informationnels, par segmentation du temps d'obtention de l'évaluation de la qualité du produit physique et du temps de vérification de l'information et de sa remise en séquence. Le temps, ou plus exactement la séquence de l'action ou du produit, n'est pas le temps de la donnée.

3.4. Phase 4 : valorisation de la donnée par un processus de traduction en information

Elle concerne le moment de la traduction, au sens de valorisation, de la donnée. La traduction en information s'opère après une constitution complexe de référentiels de présentation, représentation et qualification des informations (Barrey *et al.* 2000 ; Cochoy 2002 ; Laurent et Mallard 2020). Les qualités des produits alimentaires présentées *via* une communication blockchain sont co-construites dans une logique marketing, aux fins de susciter l'intérêt des acteurs des filières (BtoB) ou des consommateurs (BtoC). L'objectif d'intéressement dépend d'un jeu d'articulation entre les dispositions (sensibilités, attentes) supposées des acteurs destinataires du message, et les dispositifs associés (Cochoy, 2004) ; il est également attentif à la préservation de l'attention du consommateur (Goldhaber, 1997). Surtout ici, il prend la forme d'applications, sites, ou autres interfaces, à disposition des acteurs. Une observation de ces informations nous a permis d'en distinguer deux grandes catégories : les informations pérennes et les informations éphémères. Les informations pérennes concernent l'histoire de l'entreprise, ses valeurs, ses savoir-faire et les caractéristiques génériques du produit ; les informations éphémères concernent la singularisation d'un produit ou lot en particulier. Cette démarcation n'est pas anodine car elle définit au sein de l'interface les informations qui structurent immuablement les pages d'informations proposées (partie statique), et les pages informationnelles à renouveler (partie dynamique). Cet élément est central lorsque l'on comprend que les ruptures de la SC peuvent autant concerner son flux physique que son flux informationnel. Une rupture informationnelle mettra en scène, dans le cas d'une entrée l'information pérenne, un consommateur scannant un QR Code ouvrant une page privée des informations éphémères extraites de la blockchain, et dans le cas d'une entrée par l'information éphémère, un consommateur face à une absence totale d'information.

Conclusion

Dans un contexte où la commercialisation des produits agri-alimentaires soulève des controverses et se lie à une crispation de marchés « concernés » (Geiger *et al.*, 2014), voir « contestés » (Steiner et Trespeuch, 2014), la numérisation et la digitalisation de la SC peuvent effectivement s'avérer utiles au moment de réduire les coûts financiers et temporels comme de rassurer les acteurs des marchés. Cependant, elles sont dépendantes d'une mise en concordance des acteurs et des temps. Les principes de cet accord peuvent être définis selon deux catégories : le temps de déploiement (et évolution) de la solution et le temps de transformation des données en information. Chacune de ces phases implique des verrous temporels à lever.

Le temps de structuration du système d'information se conjugue à un temps long d'enrôlement des acteurs et de première négociation des données indispensables. La définition de cette architecture informationnelle doit s'associer à un consensus autour de la gouvernance informationnelle, stabilisation très complexe et chronophage à obtenir. Nous avons pu observer une censure des ambitions par les prestataires à chacune des quatre étapes de la mise en œuvre du processus de digitalisation. Cette régulation implicite est agissante au moment où les acteurs anticipent les difficultés imposées par les verrous sociotechniques où des « rapports de force se traduisent par des formes qui parfois "s'irréversibilisent", au moins pour un certain temps » (Callon et Ferrary, 2006, p. 38).

La traduction de la SC en une reproduction digitale objectivée révèle un découplage entre le flux du produit et le flux informationnel adossé. L'asynchronie des transformations des actions en données puis en information constitue un point de contrainte majeur dont un des paradoxes est que la preuve de la qualité du produit peut se trouver générée a posteriori de sa consommation. Nous mettons ici en exergue une compétition entre temps de production et distribution du produit, et temps de production des informations associées. Le processus de digitalisation a accentué la quête du juste-à-temps et de la réduction du délai logistique, il se doit maintenant de corréliser à ce rythme les temps d'authentification et de traçabilité. Cela

conditionne effectivement directement la valeur des promesses marketing de produits augmentés d'une information de traçabilité, que ce soit à destination des clients organisationnels ou des consommateurs.

Notre étude de la fabrique de l'instantanéité de la transparence et de la visibilité dans les SCs, promesse initialement adossée à l'implémentation de la blockchain dans les SCs, met ainsi en exergue des temporalités dont la quête de la maîtrise nourrit d'importantes implications managériales. Tout d'abord, développer une traçabilité totale dans une SC est un projet inter-organisationnel, et si la blockchain dans les marchés financiers porte à croire que cette technologie permet de s'affranchir de la construction de relations entre acteurs, la complexité des phases de structuration du système d'information rappelle que ce n'est pas le cas lorsqu'elle est déplacée pour embrasser les problématiques de l'approvisionnement des produits. Deuxièmement, les difficultés soulevées pour parvenir à activer les potentiels de la technologie pourraient amener à la conclusion sans doute hâtive de sa non-opérabilité. En effet, dans un premier temps, les difficultés soulevées sont avant tout de nature socio-économique et si les systèmes de traçabilité totale comme réponse aux enjeux de plus grande maîtrise de la durabilité des SC venaient à s'imposer, éliminer la technologie ne résoudrait en rien les défis que représente la co-construction de la transparence dans un système multi-acteurs. En revanche, les difficultés sont également techniques et pointent alors l'importance de concevoir la blockchain dans un réseau technologique à développer pour accélérer les temps de travail de la donnée et de production de l'information. La blockchain crée de l'ordre dans l'archivage des données, ce qui la rend susceptible de faciliter tout effort de pilotage des SCs par exploitation d'historiques informationnels à des fins de fluidification des flux physiques et transactionnels. Toutefois la quête de l'instantanéité, une fois les phases de structuration du système d'information maîtrisées, ne peut se faire sans une plus grande intégration de dispositifs de captation de données en temps réel. Il ne peut être fait abstraction d'une réflexion poussée sur l'accélération de la digitalisation des SC, en termes financiers, organisationnels mais aussi de durabilité.

Les limites de notre étude tiennent essentiellement dans son caractère encore exploratoire, qui est notamment caractérisé par une compréhension plus fine de la perspective des fournisseurs de service de blockchain que de celle des entreprises utilisatrices. Par ailleurs, rares sont les solutions que nous avons pu étudier qui se sont suffisamment pérennisées pour rendre compte des évolutions des relations marchandes et du processus de co-construction de l'infrastructure informationnelle dans le temps long. Continuité qui serait susceptible d'introduire une troisième catégorie temporelle : les temps de mise à jour des infrastructures informationnelles déployées (en cas de remplacements ou de désengagement d'acteurs de la SC, d'évolution des modalités de transformation des produits, etc.). En outre, il conviendrait de poursuivre l'analyse relative à l'apparent différentiel d'entropie entre les flux physiques et les flux informationnels des SCs, qui pousse à faire correspondre une représentation séquentielle et chaînée des cycles d'approvisionnement, de production et de distribution des produits, avec l'articulation réticulaire de la construction d'une information fondée sur des données hétérogènes et dispersées. Poursuivre nos investigations approfondies auprès des entreprises clientes de solutions blockchain pourrait très fortement conduire à bousculer les points de vue, amenant à regarder les effets (dé-)structurants de la co-construction du flux informationnel sur le management des flux physiques. Cela conduirait à poursuivre l'analyse des mouvements de déterritorialisation - reterritorialisation des activités des SCs non plus dans la sphère informationnelle, mais dans la sphère matérielle.

Bibliographie

Adner R., Puranam P. et Zhu F. (2019), What Is Different About Digital Strategy? From Quantitative to Qualitative Change, *Strategy Science*, 4(4), 253-261. <https://doi.org/10.1287/stsc.2019.0099>

Ageron B., Bentahar O. et Gunasekaran A. (2020), Digital Supply Chain: Challenges and Future Directions, *Supply Chain Forum: An International Journal*, 21(3), 133-138. <http://dx.doi:10.1080/16258312.2020.1816361>.

Akrich M., Callon M. et Latour B. (2006), *Sociologie de la traduction : textes fondateurs*, Paris, Les Presses des mines.

Akrich M., Callon, M. et Latour B. (1988), À quoi tient le succès des innovations ? 1 : L'art de l'intéressement; 2 : Le choix des porte-parole. *Gérer et Comprendre. Annales des Mines*, 11 et 12, pp.4-17 et 14-29.

Astill J., Dara R.A., Campbell M., Farber J.M., Fraser E.D.G., Sharif S. et Yada R.Y. (2019), Transparency in food SCs: A review of enabling technology solutions, *Trends in Food Science et Technology*, 91, 240–247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.024>

Barrey S., Cochoy F. et Dubuisson-Quellier S. (2000), Designer, packager et merchandiser : Trois professionnels pour une même scène marchande, *Sociologie du travail*, 42(3), 457-482.

Beck U. (1986), *Risikogesellschaft. Aufdem weg in eine andere moderne*, Frankfurt-Am-Main, Suhrkamp

Beuscart J-S., Peugeot V. et Pharabod A-S. (2020), Gouverner numériquement les conduites ? Les technologies de la transition écologique. <https://shs.hal.science/halshs-03587446> (consulté le 22/11/2023).

Björkdahl J. (2020), Strategies for Digitalization in Manufacturing Firms, *California Management Review*, 62(4), 17-36. <https://doi.org/10.1177/0008125620920349>

Boltanski L. et Thévenot L. (1991), *De la justification, les économies de la grandeur*, Paris, Gallimard.

Boullier D. (2016). *Sociologie du numérique*, Paris, Armand Colin, coll. « U ».

Bowker G.C. et Star S.L. (1999), *Sorting things out: Classification and its consequences*, MIT Press.

Büyükoçkan G. et Göçer F. (2018). Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157-177. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010>

Callon M. (1979). L'État face à l'innovation technique : le cas du véhicule électrique. *Revue française de science politique*, 29(3), 426-447. <https://doi.org/10.3406/rfsp.1979.418601>

Callon M. (1986), Éléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc, *L'année sociologique*, 36, 169-208.

Callon M. et Ferrary M. (2006), Les réseaux sociaux à l'aune de la théorie de l'acteur-réseau, *Sociologies pratiques*, 2, n° 13, p. 37-44.

Chandler A.D. (1988), *La main visible des managers, une analyse historique*, Paris, Economica.

Chessel M.-E. (2012), *Histoire de la consommation*, Paris, La Découverte.

Cochoy F. (2002), *Une sociologie du packaging ou l'âne de Buridan face au marché*, Paris, Presses Universitaires de France.

Cochoy F. (2004), *La captation des publics : c'est pour mieux te séduire mon client...*, Toulouse, Presses universitaires du Mirail.

Couzineau-Zegwaard E. et Meier O. (2023). Les artefacts digitaux de la Supply Chain : lecture du cas L'Oréal au prisme de l'acteur réseau. *Revue Française De Gestion Industrielle*, 37(2), 07–23. <https://doi.org/10.53102/2023.37.02.932>

Davallon J. (2004), Objet concret, objet scientifique, objet de recherche, *Hermès*, 38, 30-37.

De Filippi P. (2017), What blockchain means for the sharing economy. *Harvard Business Review*, March 15.

DeLanda M. (2006), *A New Philosophy of Society: Assemblage Theory and Social Complexity*, AetC Black.

Deleuze G. et Guattari F. (1980), *Milles plateaux. Capitalisme et schizophrénie 2*, Paris, Les Éditions de Minuit.

Demortain D. (2019), Une société (de l'analyse) du risque ? *Natures Sciences Sociétés*, 27, 390-398. <https://doi.org/10.1051/nss/2020005>

Denis, J. (2018), *Le travail invisible des données*, Paris, Presses des Mines.

Difrancesco R.M., Meena P. et Kumar G. (2023), How blockchain technology improves sustainable supply chain processes: A practical guide, *Operations Management Research*, 16(2), 620-641. <https://doi.org/10.1007/s12063-022-00343-y>

Fabbe-Costes N. et Lemaire C. (2001), La traçabilité totale d'une SC : principes, obstacles et perspectives de mise en œuvre, *Revue Française De Gestion Industrielle*, 20(3), 23–52. <https://doi.org/10.53102/2001.20.03.353>

Geiger S., Harisson D., Kjellberg H. et Mallard, A. (dir.). (2014), *Concerned markets: Economic ordering for multiple values*, Edward Elgar Publishing.

Giganti P., Borrello M., Falcone P.M. et Cembalo, L. (2024), The impact of blockchain technology on enhancing sustainability in the agri-food sector: A scoping review, *Journal of Cleaner Production*, 142379.

Goëta S. (2016), *Instaurer des données, instaurer des publics : Une enquête sociologique dans les coulisses de l'open data*, Thèse de doctorat, Télécom ParisTech.

Goldhaber M.H. (1997), The attention economy on the net. *First Monday*, 2(4), April.

Jensen M.C. et Meckling W.H. (1976), Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure, *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305-360.

Kamble S.S., Gunasekaran A. et Gawankar S.A. (2020), Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture SC: A review for research and applications, *International Journal of Production Economics*, 219, 179–194. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.05.022>

Karaa M. (2022), La blockchain au service de la traçabilité de l'huile d'olive : cas d'une entreprise tunisienne. *Logistique & Management*, 30(4), 142–155. <https://doi.org/10.1080/12507970.2022.2133747>

Latour B. et Woolgar S. (1986), *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*, Princeton University Press.

Laurent B. et Mallard A. (Eds.). (2020), Introduction Labels in Economic and Political Life: Studying Labelling in Contemporary Markets, in *Labelling the economy* (pp. 1-31), Palgrave Macmillan.

Lesueur-Cazé M., Bironneau L., Lux G. et Morvan T. (2022), Réflexions sur les usages de la blockchain pour la logistique et le SC Management : une approche prospective, *Revue Française de Gestion Industrielle*, 36(1), 60-82. <https://doi.org/10.53102/2022.36.01.917>

Martin M. (2004), De l'affiche à l'affichage (1860-1980). Sur une spécificité de la publicité française, *Le Temps des médias*, 2, 59-74.

Maurel D. (2013), Gouvernance informationnelle et perspective stratégique, in Clavier, V. et Paganelli, C. (dir.), *L'information professionnelle* (pp. 175-197), Hermès Sciences Lavoisier.

Monnoyer-Smith L. (2007), Les voies de l'expression citoyenne dans les sociétés modernes. Formes et contraintes des dispositifs du débat public, *Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Sciences de l'Information et de la Communication*, Laboratoire Costech, UTC Compiègne, soutenu en novembre 2007.

Musselin C., Paradeise C., Callon M., Eymard-Duvernay F., Gadrey J. et Karpik L. (2002), La qualité. *Sociologie du travail* [En ligne], 44(2), 255-287. <https://doi.org/10.4000/sdt.33108>

Nakamoto S. (2008), Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. <http://www.bitcoin.org> (consulté le 15 décembre 2023)

Nicolas E. (2018), Vers la définition d'une gestion sociale de la chaîne logistique. Analyse lexicale de rapports d'audit fournisseurs de l'entreprise Patagonia, *RIMHE : Revue Interdisciplinaire Management, Homme(s) et Entreprise*, 30(7), 46-67. <https://doi.org/10.3917/rimhe.030.0046>

Powell W.W. et DiMaggio P.J. (1991), The new institutionalism in organizational analysis, *University of Chicago Press*, Chicago, IL.

Queiroz M.M., Telles R. et Bonilla S.H. (2019), Blockchain and supply chain management integration: A systematic review of the literature, *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 241-254.

Salomie I., Dinsoreanu M., Pop C.B. et Suciuc S.L. (2008), Logistic chain generation with traceability features using web services composition, in: *2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics* (pp.393–397), 2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, Cluj-Napoca, Romania. <http://dx.doi.org/10.1109/AQTR.2008.4588774>

Saucède F. et Fenneteau H. (2017), Les blockchains et l'idéal de la traçabilité totale dans la chaîne logistique : Une lecture à travers le prisme des théories du canal de distribution, In Paché, G. (Ed), *Images de la logistique : Éclairages managériaux et sociétaux*, Presses Universitaires d'Aix-Marseille, 49-55.

Saucède F., & Piot-Lepetit, I. (2023), Blockchain, supply chains et durabilité des systèmes agro-alimentaires : Quels impacts ? Une illustration à partir d'études de cas, *Technologie et Innovation*, 8(4), 1-17.

Serres A. (2002), Posture critique et sociologie de la traduction, *Les Cahiers du CERCOR*, 1, 76-84.

Srivastava A. et Dashora K. (2022), Application of blockchain technology for agrifood SC management: a systematic literature review on benefits and challenges, *Benchmarking: An International Journal*, 29(10), 3426-3442. <http://dx.doi.org/10.1108/BIJ-08-2021-0495>

Steiner P. et Trespeuch M. (dir.). (2014), *Marchés contestés. Quand le marché rencontre la morale*, Toulouse, Presses universitaires du Midi.

Strauss A. (1992), *La trame de la négociation, Sociologie qualitative et interactionnisme*, Textes réunis et présentés par Isabelle Baszanger, Paris, L'Harmattan.

Swan M. (2016), Blockchain Temporality: Smart Contract Time Specificity with Blocktime, *Rule Technologies. Research, Tools, and Applications*, [10th International Symposium, RuleML 2016, Stony Brook, NY, USA, July 6-9, 2016. Proceedings](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9888-8_18), 184-96

Wamba S.F. et Queiroz M.M. (2020), Blockchain in the operations and supply chain management: Benefits, challenges and future research opportunities, *International Journal of Information Management*, 52, 102064, 1-9.

Weinstein O. (2012), Les théories de la firme, *Idées économiques et sociales*, 70(4), 6-15.